Deutscher Bundestag **Drucksache 17/770**
17. Wahlperiode 24.02.2010

Unterrichtung
durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2008

Inhaltsverzeichnis

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 19. Februar 2010 gemäß § 5 Absatz 2 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes.

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2008

Kurzfassung

Medizinische Strahlenexposition:

- Kontinuierlicher Anstieg der mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung durch Röntgen auf ca. 1,8 mSv (1996–2006).
- Verdoppelung der Anzahl der Computertomographien pro Einwohner und Jahr zwischen 1996 und 2006.

Berufliche Strahlenexposition:

- Mittlere Jahresdosis exponierter Personen von 0,80 mSv weiterhin auf niedrigem Niveau.

Strahlenexposition Flugpersonal:

- Gegenüber dem Vorjahr leicht erhöhte mittlere Jahresdosis von 2,3 mSv.
- Höchste Jahresdosis des fliegenden Personals bei 7,9 mSv.

Register hochradioaktiver Strahlenquellen:

- Bisher Aufnahme von 540 Genehmigungsinhabern in das Register.
- Zugang zum Register für 47 Bundes- und Landesbehörden.

Emissionsüberwachung Kernkraftwerke:

- Beitrag zur Strahlenexposition auch 2008 deutlich unter 1% der zivilisatorischen Strahlenexposition.

Schachtanlage Asse:

- Behandlung der Schachtanlage Asse II zukünftig verfahrensrechtlich wie ein Endlager.
  Übertrag der Betreiberschaft mit Ablauf des Berichtsjahres vom Helmholtz Zentrum München (HMGU) an das BfS.

Tschernobyl-Folgen:

- Jährliche Abnahme der Cäsium-137-Kontamination um 2–3% .
- Sehr geringe Kontamination der Grundnahrungsmittel (meist unter 1 Bq pro Kilogramm).
- Kontamination von Wild stellenweise immer noch sehr hoch.

Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm:

- Abschluss des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogrammes mit insgesamt 54 Forschungsprojekten aus Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation.

Mobilfunksendeanlagen:

- Keine Grenzwertüberschreitungen in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen.
- Bundeseinheitliche Messvorschrift für Feldstärkemessungen von der Bundesnetzagentur mit den Ländern abgestimmt. Sie ermöglicht Vergleiche der Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen.

Auftrag und Zusammenfassung

1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) vom 19. Dezember 1986 sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der vorliegende Bericht enthält die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Dazu werden die erhobenen Daten im Bereich Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zusammengefasst, aufbereitet und dokumentiert (§5, Abs. 1 und §11, Abs. 6 StrVG).

Zusätzlich enthält dieser Bericht Informationen über den Bereich „Nichtionisierende Strahlung“ (NIR).

Ausführlicheres Datenmaterial ist den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ zu entnehmen.

2. Zusammenfassung

Der Bericht behandelt im Bereich der ionisierenden Strahlung folgende Themen:

- die natürliche Strahlenexposition, die zivilisatorisch verändert sein kann
- die zivilisatorische Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen, Zwischen- und Endlager
- die zivilisatorische Strahlenexposition durch Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus der ehemaligen SDAG Wismut
- die berufliche Strahlenexposition
- die medizinische Strahlenexposition
- die Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die mittlere effektive Jahresdosis in diesen Bereichen.

Die natürliche Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Komponente sowie aus der Exposition durch die Aufnahme (Ingestion und Inhalation) natürlicher radioaktiver Stoffe in den Körper zusammen.

Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition. Insbesondere das radioaktive Edelgas Radon in Gebäuden kann zur Erhöhung der Exposition beitragen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, durch die Sanierung von Bergbauanlagen durch die Wismut GmbH, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre bis Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts. Die Charakterisierung der beruflichen Strahlenexposition (siehe Abbildung 2) berücksichtigt sowohl natürliche als auch zivilisatorische Strahlenquellen.

Der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl am 26. April 1986 verursachte auch im Jahr 2008 noch einen, wenn auch geringen Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 2008 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Natürliche Strahlenexposition

Die kosmische Strahlung und die überall in der Umwelt vorkommenden natürlichen Radionuklide (kosmogene und terrestrische Radionuklide) sind die Ursache der natürlichen Strahlenexposition. Die jährliche effektive Dosis beträgt bei durchschnittlichen Bedingungen in Deutschland 2,1 mSv. Sie weist aber beträchtliche Unterschiede auf, die vor allem durch die Beschaffenheit des geologischen Untergrundes, aber auch durch die Lebens- und Ernährungsgewohnheiten und die Höhe des Aufenthaltsortes über Meereshöhe verursacht werden.

Zur jährlichen effektiven Dosis aus der äußeren Strahlenexposition tragen die kosmische Strahlung mit 0,3 mSv und die in den Böden, Gesteinen und in den Baumaterialien vorkommenden terrestrischen Radionuklide mit 0,4 mSv bei.

Aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide mit der Nahrung ergibt sich für die durchschnittlichen Ernährungsbedingungen eine jährliche effektive Dosis von 0,3 mSv. Sie wird durch die terrestrischen Radionuklide bestimmt. Der Beitrag durch die kosmogenen Radionuklide ist gering (Abschnitt I).

Die Inhalation von Radon-222 (Rn-222) und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte liefert den Hauptbeitrag zur natürlichen Strahlenexposition. Der Beitrag, der durch die Inhalation von Radon-220 (Rn-220) und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte zustande kommt, ist unter den in Deutschland vorherrschenden Bedingungen gering.

Die jährliche effektive Dosis, die durch die Inhalation dieser Radionuklide entsteht, beträgt etwa 1,1 mSv, davon 0,9 mSv durch Aufenthalt in Gebäuden.

Die Strahlenexposition durch Rn-222 und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte variiert bundesweit beträchtlich. Ursachen dafür sind die geologischen Bedingungen, aber auch Art und Zustand der Gebäude. Durch epidemiologische Untersuchungen ist nachgewiesen, dass erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon eine Ursache für Lungenkrebs sein können. Deshalb sollten die Radonkonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen – soweit möglich – reduziert werden (Abschnitt I.3).

Abbildung 1

Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2008
(gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)

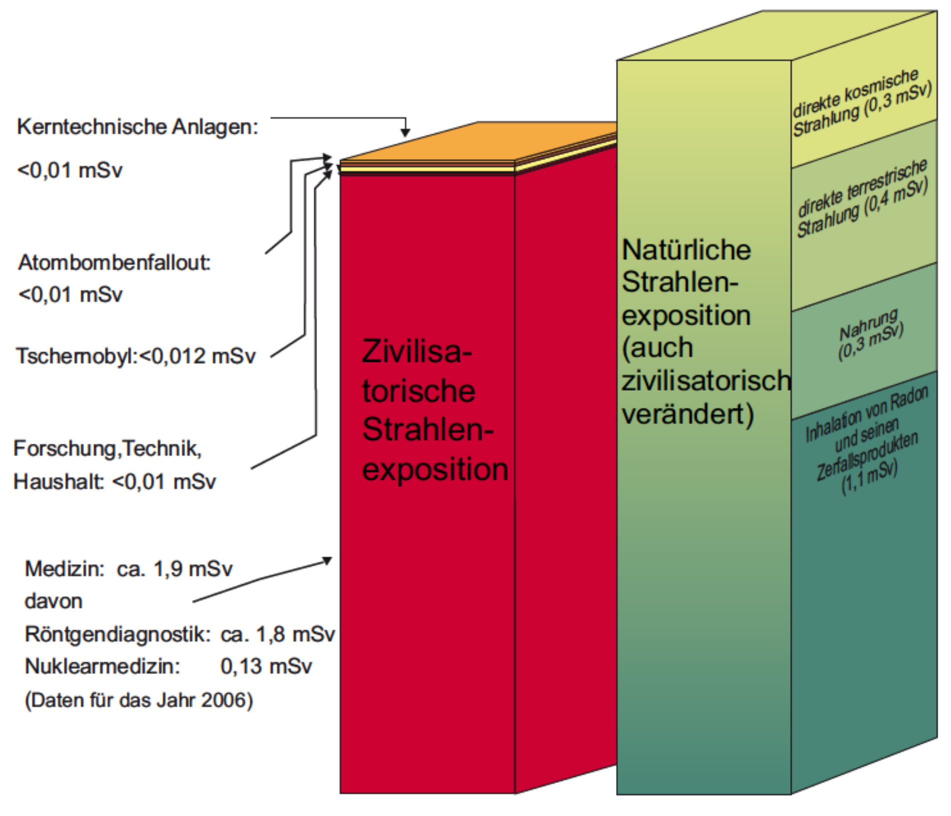
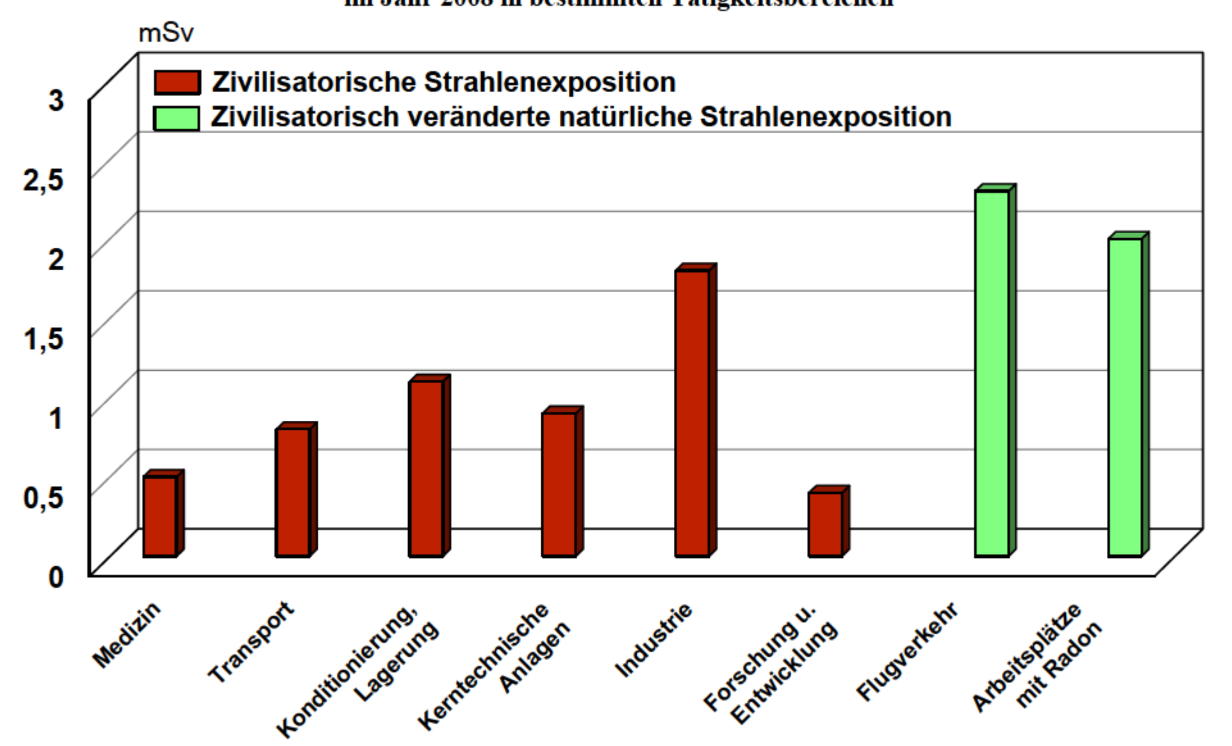


Abbildung 2

Mittlere Jahrespersonendosis beruflich strahlenexponierter Personen in Deutschland
im Jahr 2008 in bestimmten Tätigkeitsbereichen



Zivilisatorische Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen, sowie durch die Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus und deren Sanierung durch die Wismut GmbH in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2008 deutlich unter 1 % der gesamten zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Jahreswerte (Abschnitt II.1).

Die Beiträge durch die Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Forschung, Technik und Haushalt lagen unterhalb 0,01 mSv (Abschnitt II.4).

Berufliche Strahlenexposition

Die berufliche Strahlenexposition hat sich gegenüber dem Vorjahr nicht wesentlich verändert.

Die Zahl der Personen, die mit Dosimetern beruflich strahlenschutzüberwacht werden, betrug im Jahr 2008 323 500 und hat sich damit gegenüber dem Vorjahr um 5 000 Personen erhöht. Von den Überwachten erhielten 57 000 Personen eine messbare Dosis. Die mittlere Jahrespersonendosis der exponierten Personen betrug 0,80 mSv und liegt damit im Bereich des Vorjahres (0,79 mSv). Im Jahr 2008 wurden 37 000 Personen des fliegenden Personals überwacht. Gegenüber 35 000 Personen im Jahr 2007 (inkl. Nachmeldungen bis Juli 2009) sind dies 2 000 mehr. Die mittlere Jahresdosis des fliegenden Personals stieg gegenüber dem Vorjahr von 2,2 mSv auf 2,3 mSv. Dieser Anstieg ist auf die gestiegene Höhenstrahlung zurückzuführen, die mit der sich zyklisch verändernden Sonnenaktivität variiert (Abschnitte III.1 und III.2). Abbildung 2 gibt einen Überblick der Strahlenexposition der exponierten Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen.

Medizinische Strahlenexposition

Der größte Beitrag zur zivilisatorischen Strahlenexposition wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Er ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Aktuell liegt der Wert für das Jahr 2006 vor. Er beträgt ca. 1,8 mSv für die Röntgendiagnostik und 0,13 mSv für die Nuklearmedizin (siehe Abschnitt IV).

Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl und den Kernwaffen-Fall-out

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging zwar von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,012 mSv im Jahre 2008 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln (z.B. Pilze und Wildbret) aus einigen Waldgebieten immer noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Strahlenbelastungen auf, die bis zu einer Größenordnung über dem genannten Mittelwert liegen.

Die Dosis durch die in großer Zahl bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts und letztmals im Jahr 1981 in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig; sie betrug 2008 weniger als 0,01 mSv.

Gesamtbewertung der ionisierenden Strahlung

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition liegt zwischen 2 und 3 mSv pro Jahr. Rechnerisch ergibt sich für Erwachsene ein Wert von 2,1 mSv.

Bei der zivilisatorischen Strahlenexposition wurde der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin auf insgesamt etwa 1,9 mSv pro Jahr für röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering. Die berechnete Gesamtexposition beträgt wie im Vorjahr 4,0 mSv.

Nichtionisierende Strahlung

Das Frequenzspektrum der nichtionisierenden Strahlung erstreckt sich von statischen Magnetfeldern wie z.B. dem Erdmagnetfeld über niederfrequente elektrische und magnetische Felder (z.B. des Haushaltsstroms) und hochfrequente elektromagnetische Felder (z.B. des Mobilfunks) bis zur optischen Strahlung, die sich in Infrarotstrahlung, sichtbares Licht und UV-Strahlung unterteilen lässt.

Auf Grund der technischen Entwicklung ist die Bevölkerung in zunehmendem Maße niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern der drahtlosen Kommunikationstechnologien ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie sowie die zusätzliche Einführung von Funkdienstleistungen wie z.B. das Digitale Fernsehen (DVB), prägt weiterhin die öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken von drahtlosen Kommunikationstechnologien.

Das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) mit insgesamt 54 Forschungsprojekten aus Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Es hat dazu beigetragen, die Datenlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse bezüglich hochfrequenter Felder und deren Auswirkungen auf den Menschen entscheidend zu verbessern. Die wesentliche Frage möglicher Langzeitrisiken für Handynutzungszeiten ist noch immer nicht geklärt. Ebenso existiert weiterhin Forschungsbedarf im Hinblick auf die Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene. Die Beibehaltung der vom BfS und auch von der Strahlenschutzkommission formulierten einschlägigen Vorsorgemaßnahmen vor allem für Kinder und Jugendliche wird weiterhin empfohlen.

Für niederfrequente elektrische und magnetische sowie für hochfrequente elektromagnetische Felder wurden, ba-

sierend auf internationalen Empfehlungen, Grenzwerte festgelegt. Diese Grenzwerte beruhen auf wissenschaftlich nachgewiesenen Gesundheitsrisiken unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Erkenntnisse. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) festgeschrieben. Sowohl im niederfrequenten als auch im hochfrequenten Bereich liegt die Exposition der Bevölkerung den Messungen 2008 zufolge im Mittel weit unter diesen gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten.

Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Bundesweite Messkampagnen der BNetzA und regionale Messkampagnen einiger Bundesländer zeigten auch 2008, dass die entsprechenden Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

Ein Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb dieser Grenzwerte. Aus diesen Hinweisen lässt sich kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung ableiten. Vorsorgemaßnahmen hierzu sind neben Empfehlungen zur Reduktion der individuellen Strahlenexposition auch die Weiterführung der Erforschung biologischer Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern durch das BfS.

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellnessbereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die Besorgnis erregende Zunahme von Hautkrebs ist mit dem Freizeitverhalten in Verbindung zu bringen. Hier besteht weiterhin Handlungsbedarf. Dementsprechend hat sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) auch 2008 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung der Bevölkerung zu reduzieren. Hierzu gehört das in Deutschland seit 1993 etablierte UV-Monitoring des BfS und des Umweltbundesamtes (UBA). Zusammen mit weiteren fünf Institutionen wird die tägliche UV-Strahlung der Sonne kontinuierlich erfasst, bewertet und der daraus ermittelte UV-Index im Internet veröffentlicht. Die für das Berichtsjahr 2008 ermittelten Daten wiesen in den Monaten Juni und Juli in der Mitte sowie im Mai, Juni und Juli im Süden Deutschlands Maximalwerte des UV-Index von über acht auf (Abschnitt VI.2.3).

Die einheitlichen Kriterien des BfS stellen einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden von Solarien vor zu hoher UV-Belastung dar. Diese Kriterien bilden die Grundlage für das 2003 geschaffene freiwillige Zertifizierungsverfahren für Solarien. Bis Ende 2008 haben die durch das BfS akkreditierten Zertifizierungsstellen knapp 800 Solarienbetriebe zertifiziert. In Anbetracht der Gesamtzahl der Sonnenstudios, des seit nunmehr 5 Jahren bestehenden freiwilligen Zertifizierungsverfahrens und der Tatsache, dass auch zertifizierte Sonnenstudios den Kriterien oft nicht genügen, ist die Situation unbefriedigend. Eine gesetzliche Regelung zum Schutz der Verbraucher wird zurzeit erarbeitet.

I. Natürliche Strahlenexposition

1. Äußere und innere natürliche Strahlenquellen

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Es wird zwischen der äußeren und der inneren Strahlenexposition unterschieden. Zur äußeren Strahlenexposition trägt neben der kosmischen Strahlung die Gamma-Strahlung bei, die von den in Böden, Gesteinen und Baumaterialien vorkommenden Radionukliden ausgeht. Eine innere Strahlenexposition resultiert aus der Inkorporation natürlicher Radionuklide durch Ingestion und Inhalation.

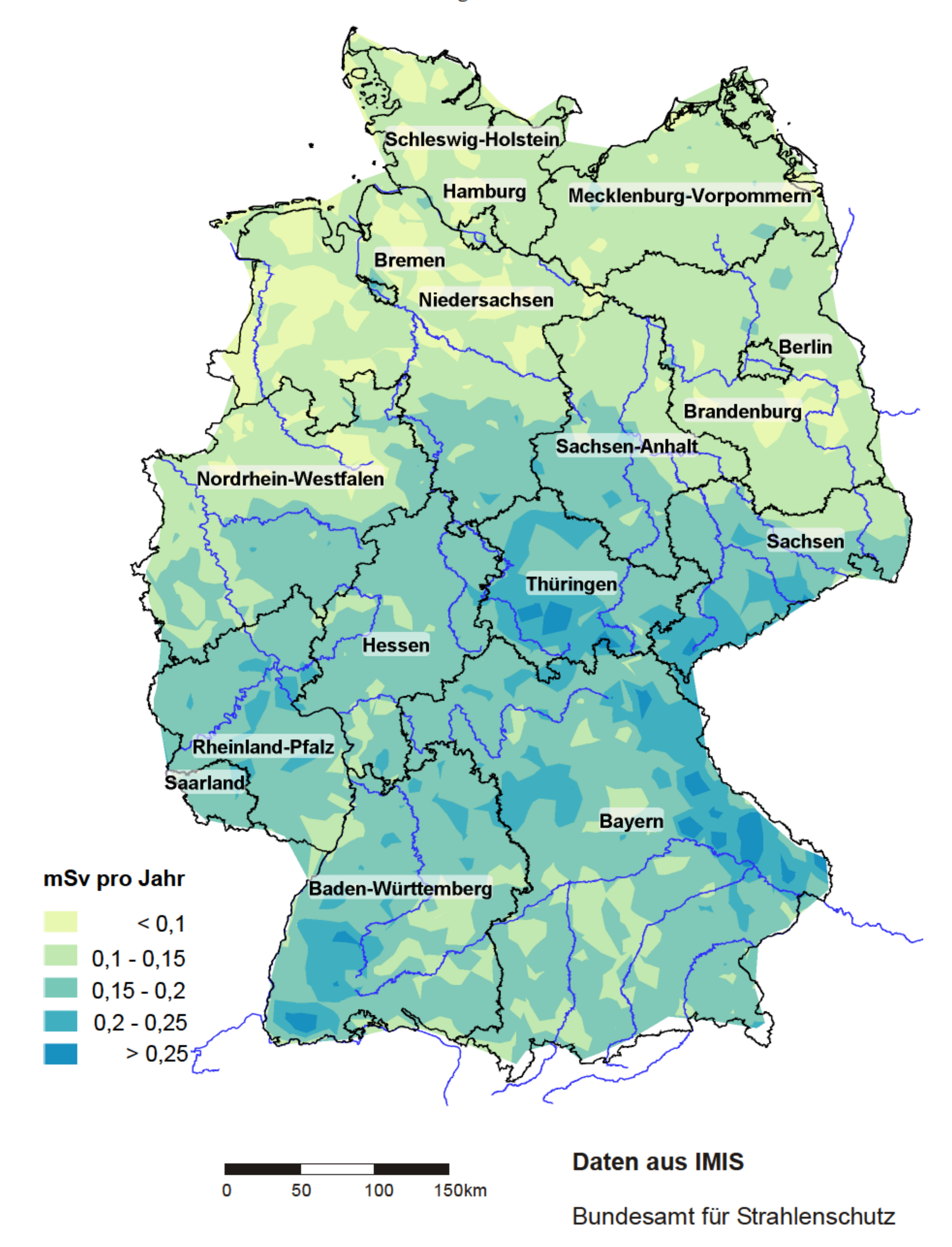
Den wesentlichen Beitrag zur äußeren Strahlenexposition, die durch die kosmische Strahlung verursacht wird, liefert der ionisierende Anteil der sekundären kosmischen Strahlung. Sie verursacht in Höhe des Meeresspiegels eine jährliche effektive Dosis von 0,24 mSv und nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die Neutronenkomponente der kosmischen Strahlung verursacht in Höhe des Meeresspiegels nur eine jährliche effektive Dosis von 0,03 mSv. Sie steigt aber mit zunehmender Höhe schneller an. Insgesamt beträgt die jährliche effektive Dosis aus der kosmischen Strahlung etwa 0,3 mSv.

Die durch die terrestrischen Radionuklide verursachte äußere Strahlenexposition ist auf den Gehalt der Böden, der Gesteine und vor allem der Baumaterialien an den Nukliden der Thorium- und der Uran-Radiumzerfallsreihe sowie an Kalium-40 zurückzuführen. Im Freien auf nicht versiegelten Flächen ist sie vom Gehalt der genannten Radionuklide in der obersten Bodenschicht bis zu ca. 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden dort für die terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung 57 nSv/h bestimmt (Photonen-Äquivalentdosisleistung). Höhere Werte, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen, und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind die Bergbaugebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt sowie Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

Abbildung I.1-1 zeigt als Maß für die geographische Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien die Gamma-Ortsdosisleistung in Bodennähe in der Bundesrepublik Deutschland 2008. Abgesehen von den unterschiedlichen Gehalten an terrestrischen Radionukliden spiegelt sie auch die mit der Höhe zunehmende kosmische Strahlung wider. Die terrestrische Strahlung trägt im Mittel einen Anteil von 40 nSv/h, die kosmische Strahlung 32 nSv/h zur effektiven Dosis bei. Bei einem mittleren Aufenthalt von 5 Stunden pro Tag im Freien ergibt die Summe dieser beiden Werte pro Jahr im Mittel 0,13 mSv.

Abbildung I.1-1

Externe Strahlenexposition im Jahr 2008 in Deutschland durch Aufenthalt von täglich 5 Stunden im Freien



Daten aus IMIS

Bundesamt für Strahlenschutz

In urbanen Gebieten wird die terrestrische Strahlung im Freien überwiegend durch den Gehalt der Radionuklide in den Materialien verursacht, die zum Straßen- und Häuserbau verwendet worden sind und nur zu einem geringen Teil durch den Radionuklidgehalt in Böden oder Gesteinen.

In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition durch den Gehalt der Radionuklide in den verwendeten Baustoffen bestimmt. Bei einem Wertebereich von 20 bis 700 nSv/h beträgt die Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h (Photonen-Äquivalentdosisleistung). Sie trägt 56 nSv/h zur effektiven Dosis bei. Zusammen mit der kosmischen Komponente von 26 nSv/h ergibt dies bei einem mittleren Aufenthalt von 19 Stunden pro Tag in Gebäuden pro Jahr im Mittel 0,57 mSv. Addiert man zu diesem Wert die Strahlenexposition im Freien (0,13 mSv) erhält man als Mittelwert 0,7 mSv für die gesamte äußere Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen. Dazu tragen die Radionuklide im Boden und in Baumaterialien zwischen 0,4 mSv und 0,5 mSv bei.

Wesentlich zur natürlichen Strahlenexposition tragen die Inhalation von Radon-222 und der daraus entstehenden radioaktiven Zerfallsprodukte mit kurzen Halbwertszeiten (kurzlebige Radonzerfallsprodukte) bei, die meist an Schwebstoffe angelagert beim Einatmen im Atemtrakt abgeschieden werden und dort durch Alpha-Strahlung die Strahlenexposition verursachen. Auch Radon-220 (Thoron) und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte tragen - wenn auch in vergleichsweise geringem Maß - auf diesem Weg zur Strahlenexposition bei. Unter durchschnittlichen Bedingungen wird dadurch eine jährliche effektive Dosis von 1,1 mSv verursacht. Davon entfallen etwa 0,9 mSv auf den Aufenthalt in Gebäuden und 0,2 mSv auf den Aufenthalt im Freien. Regional, aber auch von Haus zu Haus, können große Unterschiede der Radon-222-Konzentrationen in Gebäuden auftreten.

Die jährliche effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der o. g. Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur etwa 0,005 mSv und wird vor allem durch Blei-210 verursacht.

Die innere Strahlenexposition durch Kalium-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt. Der durchschnittliche Kalium-40-Gehalt im Körper eines Erwachsenen beträgt 4000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 (siehe Seite 62) abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. Hinzu kommt die äußere Strahlenexposition mit 0,7 mSv. In der Summe ergibt sich in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. Abbildung 1 zeigt die Beiträge einzelner Komponenten der Strahlenexposition zur mittleren jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung. In Anbetracht der Variationsbreite der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch die Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, liegt die jährliche effektive Dosis im Mittel in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse weltweit ein Wert von 2,4 mSv angegeben.

Die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien und vor allem das Rn-222, das aus dem Baugrund in die Gebäude gelangt, sind Ursachen der bereits genannten Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition. Weitere Informationen dazu und auch zu den Möglichkeiten, die dadurch verursachten Strahlenexpositionen zu begrenzen, werden in den folgenden Abschnitten 2 und 3 gegeben.

Kleinräumig können auch Hinterlassenschaften des Bergbaus und der Industrie, die erhöhte Gehalte an Radionukliden der Uran-Radium-Zerfallreihe - in einigen Fällen auch der Thorium-Zerfallreihe - aufweisen, zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche Radionuklide beitragen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Hinterlassenschaften der ehemaligen Uranproduktion in Sachsen und Thüringen, bei denen Sanierungsmaßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition durchgeführt werden. Über die dabei unvermeidlichen Ableitungen natürlicher Radionuklide, die mit Genehmigung der zuständigen Behörden erfolgen, und die dadurch verursachten Strahlenexpositionen informiert der Abschnitt II.2.

2. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Seit mehr als 25 Jahren werden in der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen und Bewertungen der Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Natursteinen, Baustoffen und Rückständen industrieller Prozesse durchgeführt. In mehr als 1500 Proben dieser Materialien wurden die spezifischen Aktivitäten von Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 bestimmt (s. Tabelle III.1 im Bericht von 1999).

Die spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide weisen von Material zu Material und auch innerhalb einer Materialart große Unterschiede auf. Unter den Natursteinen besitzen kieselsäurereiche Magmagesteine, insbesondere Granite, vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Der Mittelwert der durch die natürlichen radioaktiven Stoffe in den Baumaterialien verursachten Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden Deutschlands beträgt 80 nSv/h. Werte über 200 nSv/h sind selten.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen in Deutsch-

land verwendeten Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel so gering sind, dass sie nicht als Ursache für erhöhte Konzentrationen von Radon-222 in Wohnungen in Frage kommen.

Bedingt durch die zunehmende Verwendung von Naturwerksteinen im häuslichen Bereich ist in jüngster Zeit die natürliche Radioaktivität dieser Materialien und die davon ausgehende Strahlenexposition von Interesse für die Bevölkerung. Deshalb wurden im Jahre 2005 mit Unterstützung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes e.V. eine Reihe marktgängiger Fliesen und anderer Plattenmaterialien unterschiedlichster Herkunft untersucht.

Die radiologische Relevanz der einzelnen Materialien für die Strahlenexposition der Bevölkerung hängt neben der Radionuklidkonzentration und der Radonfreisetzung vor allem von der Art ihrer Verwendung ab. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die untersuchten Naturwerksteine selbst bei großflächiger Anwendung keine signifikant erhöhte Strahlenexpositionen verursachen.

Bei einigen industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich natürliche radioaktive Stoffe in den Prozessrückständen an. In der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) sind Rückstände aus bergbaulichen und industriellen Prozessen ausdrücklich genannt, die auf Grund der spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide zu erheblich erhöhten Strahlenexpositionen führen können und für die deshalb die Pflicht zur Überwachung besteht. Die StrlSchV regelt unter anderem den Zusatz solcher Rückstände zu Baustoffen. Dafür sind in der Anlage XII spezielle Überwachungsgrenzen festgelegt worden. Bei deren Einhaltung ist sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr infolge der Verwertung von Rückständen nicht überschritten wird. Mit der Regelung dieses Bereiches wird der EU-Richtlinie über Bauprodukte (89/106/EWG) entsprochen, nach der in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden darf, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Derzeit werden weitere Untersuchungen an aktuell hergestellten Baustoffen durchgeführt, um die Einhaltung dieser Forderung auch bei Produkten ohne Verwendung derartiger Rückstände nachzuweisen und somit die innerhalb der EU angestrebte Einstufung in Prüfklassen vorzubereiten.

3. Radon in Gebäuden

3.1 Gesundheitliche Auswirkungen durch Radon

Radon-222 und seine Zerfallsprodukte gelangen durch Inhalation mit der Luft in die Atemwege. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (dabei handelt es sich u.a. um die radioaktiven Schwermetalle Polonium-218, Wismut-214, Blei-214 und Polonium-214) in den Atemwegen angelagert. Die beim radioaktiven Zerfall dieser Folgeprodukte auftretende Strahlung führt zu einer Exposition der Atemwege, die in Deutschland zu einer mittleren effektiven Dosis von 1,1 mSv pro Jahr führt. Nach derzeitiger Kenntnis werden andere Organe durch Radon und seine Zerfallsprodukte weitaus weniger belastet.

In zahlreichen Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Auf dieser Grundlage kommt die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) in ihrer Empfehlung vom 21./22.4. 2005[1] zu folgender Bewertung:

Die zusammenfassende Auswertung der in Europa und Nordamerika durchgeführten Studien zeigt zweifelsfrei einen Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration.

Dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar.

- Eine signifikante Risikoerhöhung wurde schon in einem Konzentrationsintervall von 100 bis 199 Bq/m^3 festgestellt.
- Die Expositions-Wirkungs-Beziehung ist linear ohne Schwellenwert. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro 100 Bq/m^3 Radonkonzentration.

Auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist in einer Publikation aus dem Jahr 2001 erneut darauf hin, dass Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem darstellt und für den Menschen krebserregend ist. Ferner wird festgestellt, dass die Unsicherheit bei der Risikoabschätzung geringer ist als bei anderen krebserregenden Stoffen. Im Jahre 2005 startete die WHO ein internationales Radonprojekt, um die Gesundheitsaspekte von Radonexpositionen zu analysieren und Empfehlungen für Messungen und Sanierungen sowie Leitfäden zur administrativen Regelung in den Mitgliedsstaaten zu formulieren. Die Veröffentlichung der Ergebnisse ist für das Jahr 2009 vorgesehen.

3.2 Begrenzung der Radonexposition in Gebäuden

Im Sinne der Konsistenz von Risikoeinstufungen fordert die SSK in der Empfehlung vom 21./22.4. 2005 Regelungen zur Begrenzung der Radonexposition in Wohnungen. Aus den epidemiologischen Untersuchungen ergebe sich, dass das Ziel dieser Regelungen eine generelle und möglichst weit gehende Reduzierung der Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen sein sollte.

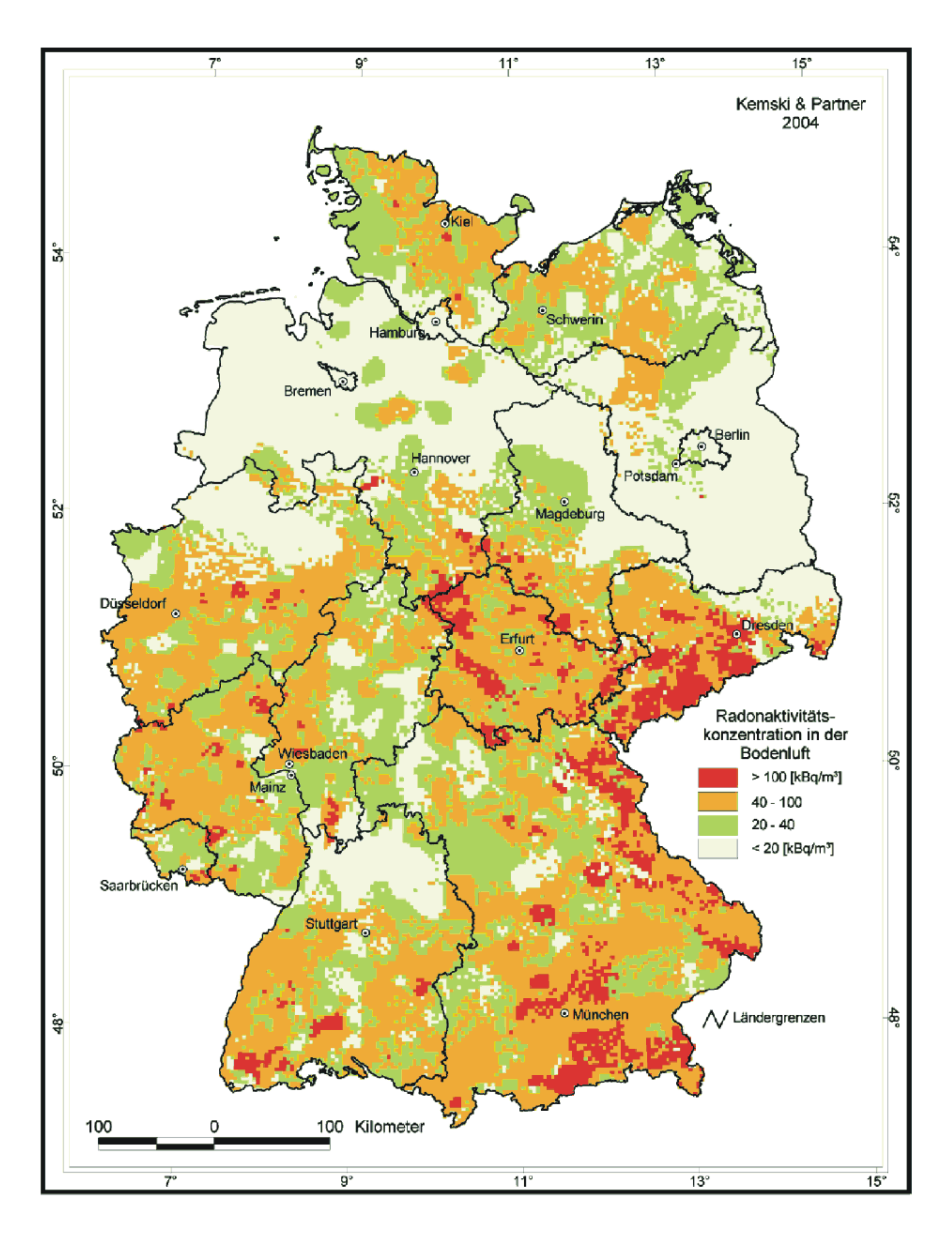
Bei der Entwicklung eines Schutzkonzeptes muss Folgendes in Betracht gezogen werden:

- Es gibt in Deutschland neben einer großen Zahl von Wohnräumen mit mittleren Radonkonzentrationen vergleichsweise viele mit hohen und sehr hohen Radonkonzentrationen (logarithmische Normalverteilung).

[1] Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschtzkommission 2005. In: Gumprecht D, Heller H (Hrsg.): Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 59, Bonn, 2007

Abbildung I.3-1

Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe für die Bundesrepublik Deutschland



– Die Radonkonzentration im Freien liegt meist im Bereich bis 30 Bq/m³ Luft, aber es kommen vereinzelt auch Konzentrationen bis zu 50 Bq/m³ vor.

– Die mineralischen Baumaterialen bilden den Hauptanteil der Wohnbausubstanz. Ihr Beitrag zur Radonkonzentration in Wohnungen beträgt im überwiegenden Teil weniger als 20 Bq/m³. Nur in seltenen Ausnahmefällen werden Beiträge erreicht, die mit dem geogenen Radon vergleichbar sind.

Es empfiehlt sich, Radonkonzentrationen von über 100 Bq/m³ Luft in Aufenthaltsräumen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Art und Effizienz der Maßnahmen sollten bei Neubauten der Standortsituation gerecht werden und sich bei der Sanierung bestehender Gebäude an der Höhe der gemessenen Radonkonzentration orientieren. Ob ein Haus eine erhöhte Radonraumluftkonzentration aufweist oder eine Sanierung erfolgreich war, kann nur durch Messungen festgestellt werden.

3.3 Die Radonsituation in Deutschland

Für die Radonkonzentration (Radon-222) in Gebäuden ist die Radonkonzentration in der Luft im Erdboden (Bodenluft) ein bestimmender Parameter. Der Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnräumen in Deutschland beträgt ca. 50 Bq/m³. Gebäude mit erhöhten Radonkonzentrationen kommen vor allem in Regionen vor, in denen erhöhte Radonkonzentrationen in der Bodenluft vorliegen.

Die Radonkonzentration in der Bodenluft wurde bundesweit untersucht. Die Kartendarstellung (Abbildung I.3-1) zeigt den abschließenden Stand dieser an 2347 geologisch repräsentativen Messorten durchgeführten Untersuchungen.

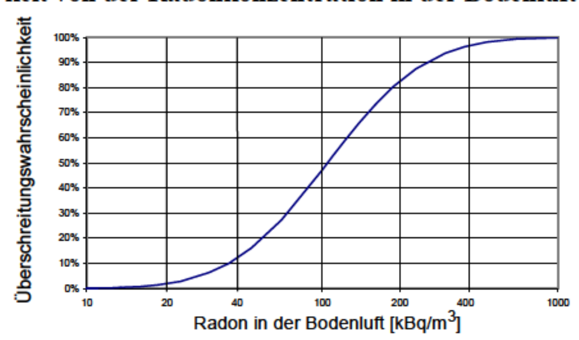
Die Ausbreitung des Radons aus dem Baugrund in die Gebäude kann durch einen Transferfaktor als Verhältnis der Radonkonzentration im Gebäude zu der in der Bodenluft beschrieben werden. Für unterkellerte Erdgeschosswohnräume bzw. Kellerräume wurden Medianwerte von 1,1 ‰ bzw. 1,6 ‰ ermittelt. In Abhängigkeit von der Isolierung der Gebäude im erdberührten Bereich, der Gebäudestruktur und anderen Parametern ist die Spannweite des Transferfaktors sehr groß (zwischen 0,1 ‰ und 20 ‰).

Unter Beachtung der Verteilung des Transferfaktors wurden die Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung unterschiedlicher Konzentrationsniveaus abgeschätzt. In Abbildung I.3-2 ist als Beispiel die Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung der Konzentration von 100 Bq/m³ in einem vollständig unterkellerten Aufenthaltsraum in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft dargestellt.

Bei einer Bauausführung entsprechend den heutigen Anforderungen, vor allem einer normgerechten Abdichtung der Gebäude gegen von außen anliegende Bodenfeuchte, sind in Gebieten, in denen die Radonkonzentration in der Bodenluft 20 kBq/m³ nicht übersteigt, Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen sehr unwahrscheinlich. Für die Planung von Maßnahmen zum Schutz vor erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden ist dieser Umstand von großer Bedeutung. In den übrigen Gebieten sollten beim Neubau ergänzende Maßnahmen eingeplant werden, um sicher zu stellen, dass die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen 100 Bq/m³ möglichst nicht übersteigt. Selbst an Standorten mit höheren Radonkonzentrationen in der Bodenluft kann dies in der Regel mit vertretbarem finanziellem Aufwand erreicht werden. Wenn bauliche oder heizungs- bzw. lüftungstechnische Maßnahmen in Umsetzung der Energieeinsparverordnung durchgeführt werden, sind mögliche Auswirkungen auf die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen zu beachten.

Abbildung I.3-2

Berechnete Wahrscheinlichkeit des Überschreitens der Radonkonzentration von 100 Bq/m³ in einem vollständig unterkellerten Aufenthaltsraum in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in der Bodenluft



Ausgehend von Messungen in über 50000 Gebäuden und den Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft können heute einerseits Gebiete mit natürlich erhöhtem Radongehalt im Boden identifiziert werden und andererseits auf Grund ihrer Geologie auch Gebiete beschrieben werden, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit der Baugrund als Quelle für Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen ausscheidet. Vielerorts sind aber noch Untersuchungen erforderlich, um die Radonsituation kleinräumig hinreichend sicher bewerten zu können.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Messungen sowie der Gebäudeverteilung in Deutschland wird geschätzt, dass in rund 9 bis 12% der bestehenden Ein- und Zweifamilienhäuser Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen vorkommen. In weniger als 0,2% des Bestandes dieser Häuser liegt die Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen vermutlich über 1000 Bq/m³.

Der Einfluss der Radonabgabe aus mineralischen Baumaterialien wird als gering angesehen. Eine mögliche Einbeziehung der Radonabgabe aus einem Baustoff als Zulassungskriterium in der EU-Richtlinie über Bauprodukte wird in einem laufenden Projekt auf Basis in Deutschland üblicher Baustoffe untersucht.

II. Zivilisatorische Strahlenexposition

1. Kernkraftwerke, Forschungszentren, Kernbrennstoff verarbeitende Betriebe

1.1 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen werden nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ von den Betreibern der einzelnen Anlagen ermittelt und den zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Messverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Messergebnisse sind in Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich beauftragter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft.

Die für 2008 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Abbildungen II.1-1 bis II.1-3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte.

^{14}C (Kohlenstoff-14) wird in Abbildung II.1-2 in Form von $^{14}CO_2$ angegeben, hauptsächlich deshalb, weil Kohlendioxid über Assimilation in die Nahrungskette gelangt und damit zu einer Ingestionsdosis führt. Besonders aus Druckwasserreaktoren wird zusätzlich organisch gebundenes ^{14}C abgeleitet, dessen Dosisbeitrag aber vernachlässigbar ist, weil organisch gebundenes ^{14}C nicht über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Die Gesamtsumme an abgeleitetem ^{14}C über die Fortluft im Jahr 2008 beträgt wie im Vorjahr an den in Abbildung II.1-2 aufgeführten Standorten etwa $4{,}8 \cdot 10^{12}$ Bq.

Tabelle II.1-1

Kerntechnische Forschungseinrichtungen in Deutschland

Einrichtung	Standort
Forschungszentrum Karlsruhe	Karlsruhe
Forschungszentrum Jülich	Jülich
Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (FZD)	Rossendorf
Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf (VKTA)	Rossendorf
GKSS-Forschungszentrum	Geesthacht
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (bisher Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI)	Berlin
Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz (FRM I+II)	Garching

In Abbildung II.1-4 sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, Berlin und Garching für das Jahr 2008 zusammengefasst. Eine Übersicht über die Forschungszentren gibt Tabelle II.1-1. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In Abbildung II.1-5 sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 2008 zusammengestellt. Tabelle II.1-2 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben.

Tabelle II.1-2

Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Fortluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2008

Betrieb	Fortluft	Abwasser
	Aktivität in Bq	
ANF GmbH Lingen	< 1,5 E+04	*
URENCO D Gronau	2,8 E+04	2,3 E+03

* kleiner als Nachweisgrenze

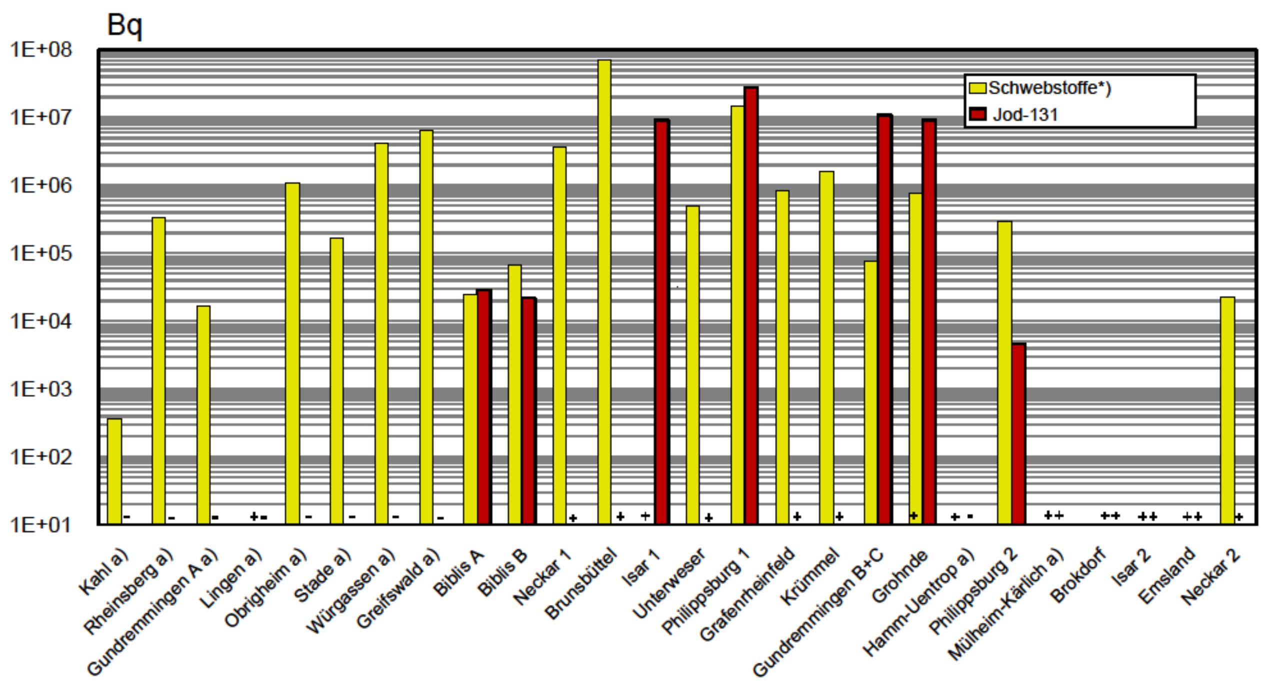
Im benachbarten Ausland waren Ende 2008 in Grenznähe, d.h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in Tabelle II.1-3 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“. Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen sind im Bericht „Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz - Ergebnisse 2008“ des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

1.2 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird von der Leitstelle Fortluft des Bundesamtes für Strahlenschutz die Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der StrlSchV definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das im Entwurf vom 13.05.2005 der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ festgelegt ist. Im Gegensatz zu den Leistungskraftwerken führen die Forschungszentren selbst Ausbreitungsrechnungen und Dosisabschätzungen durch. Die Dosisangaben für Forschungszentren sind deswegen überwiegend deren Jahresberichten entnommen. Die in den Abbildungen II.1-6 bis II.1-8 angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 47 Abs. 2 der StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist

Abbildung II.1-1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2008
Schwebstoffe und Jod-131



a) Betrieb beendet
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler, früher "Aerosole"

\+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
\- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2008
$^{14}CO_2$, Tritium und Edelgase

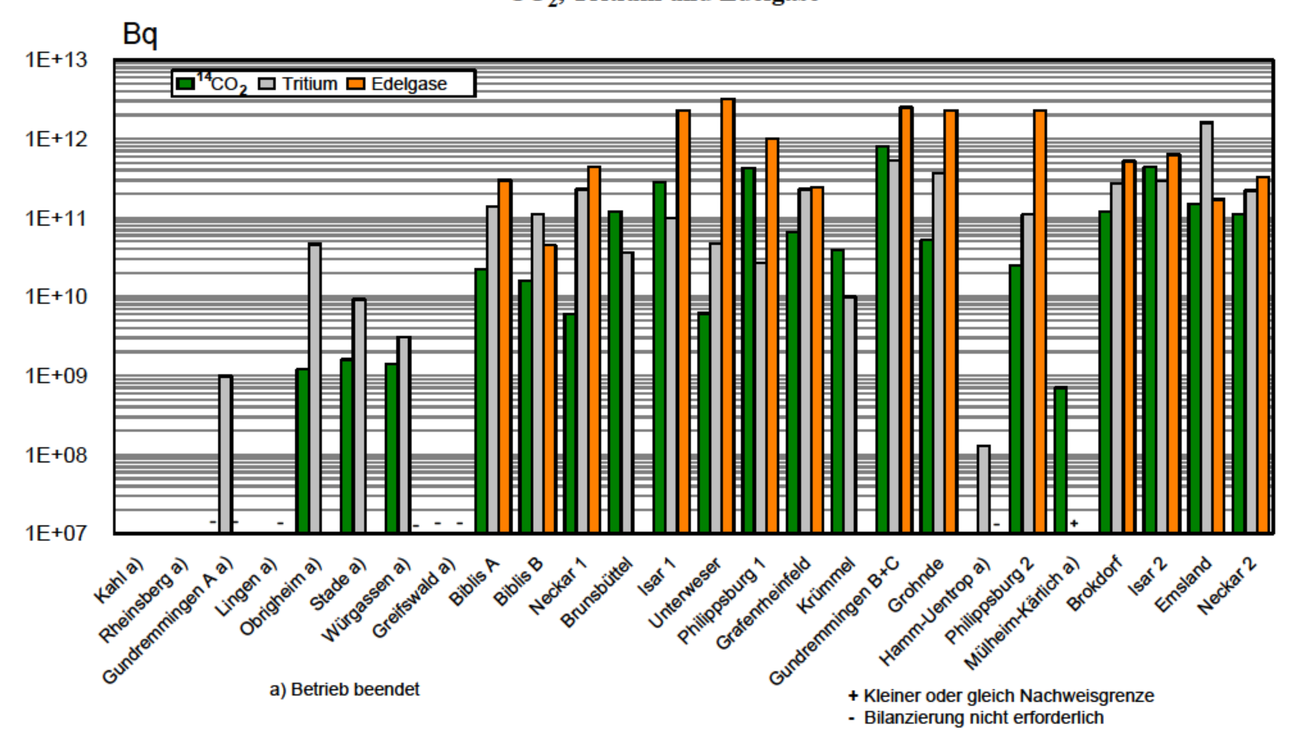
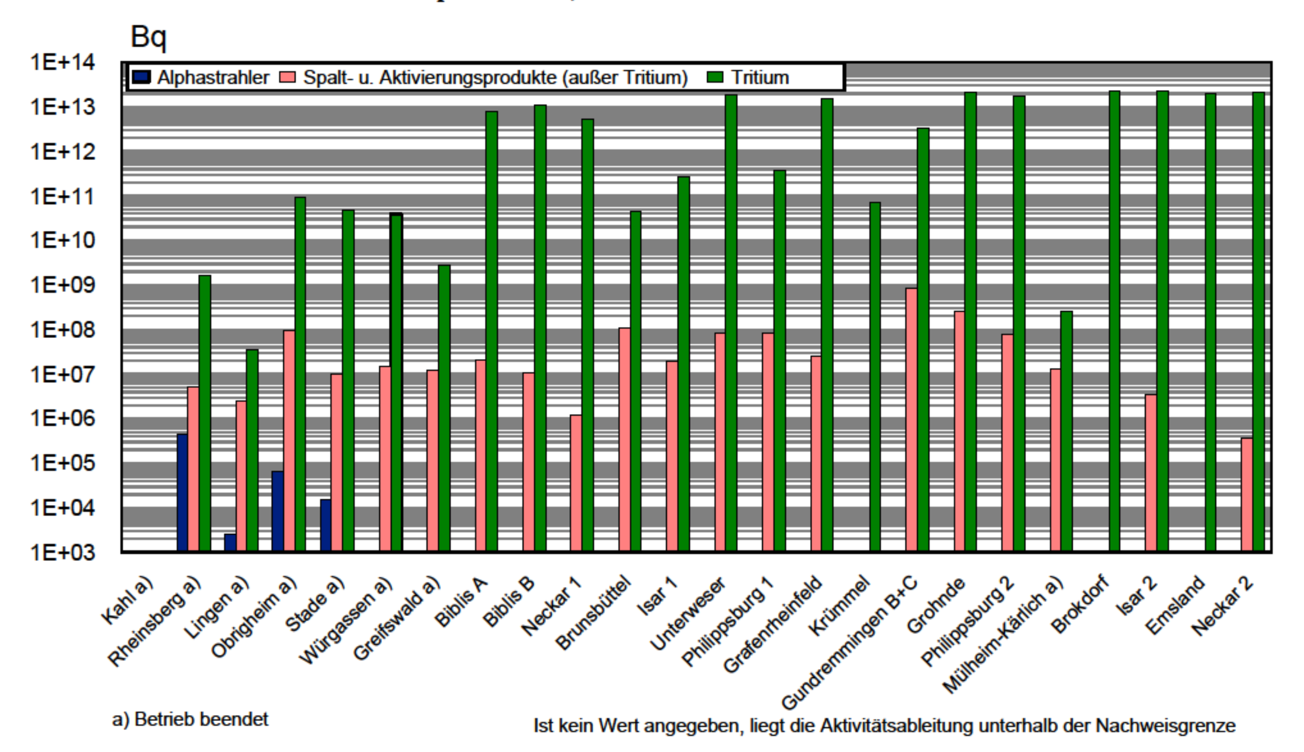


Abbildung II.1-3

Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2008
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium

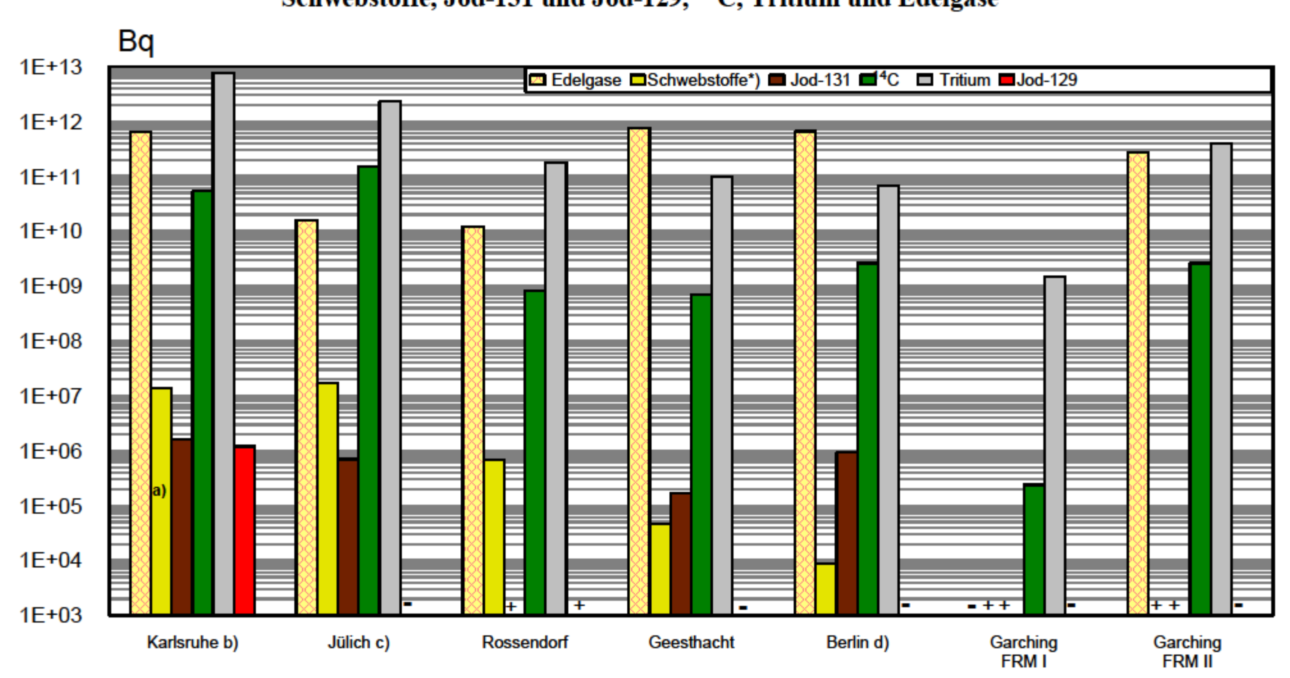


a) Betrieb beendet

Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Abbildung II.1-4

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Forschungszentren im Jahr 2008
Schwebstoffe, Jod-131 und Jod-129, ^{14}C, Tritium und Edelgase

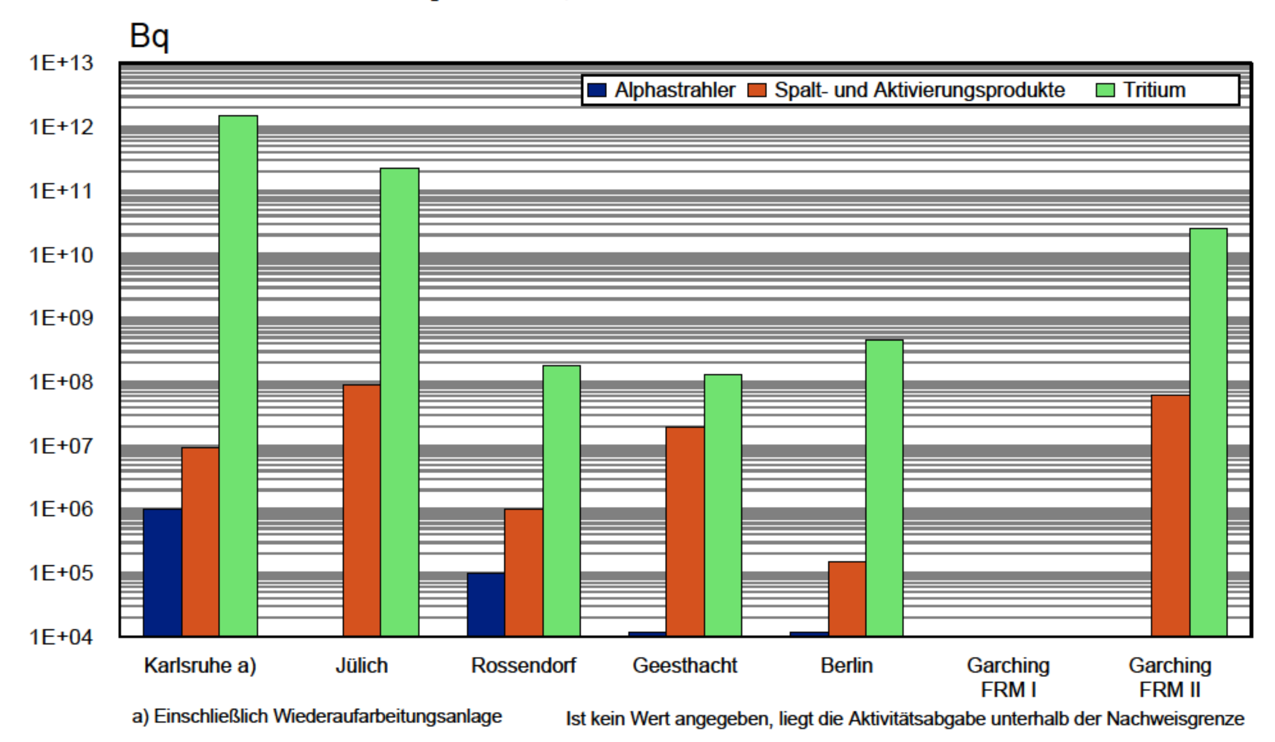


a) Davon Alphastrahler: 1,5 E+05 Bq
b) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
c) Einschließlich Versuchsreaktor AVR
d) Einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler
+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.1-5

Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2008
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium

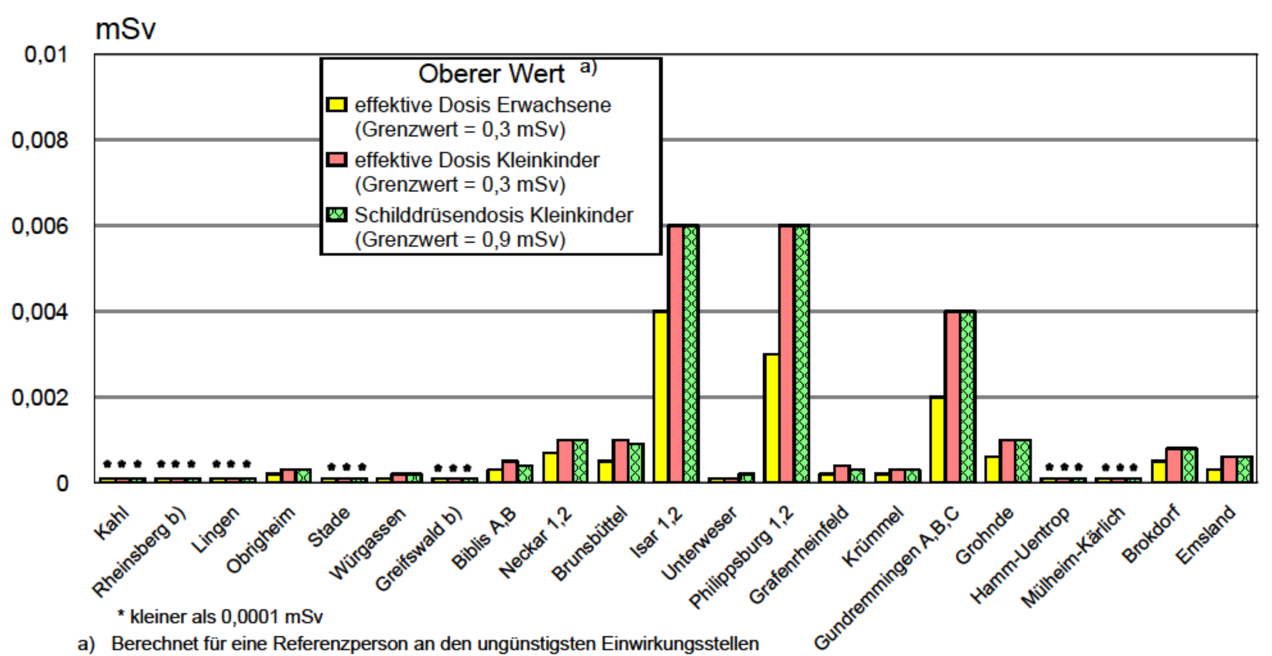


a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage

Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Abbildung II.1-6

Strahlenexposition im Jahr 2008 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



* kleiner als 0,0001 mSv

a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen

eine fiktive Person, für die in der StrlSchV (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Für die Zwecke der Berichterstattung werden hier nur die Dosen für die kritischen Gruppen und Organe angegeben. In Fällen, in denen die Strahlenbelastung von Säuglingen unter der von Kleinkindern liegt, wird diese nicht angegeben. Außerdem werden Organdosen nur für das am meisten betroffene Organ angegeben.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2008 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft enthält Abbildung II.1-6. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe über 17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Abbildung II.1-6 zeigt als größten berechneten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,004 mSv (unter 2 % des zulässigen Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) beim Standort Isar sowie für Kleinkinder 0,006 mSv (2 % des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) bei den Standorten Isar und Phillipsburg (jeweils beide Blöcke). Der größte berechnete Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,006 mSv (unter 1% des Dosisgrenzwertes nach StrlSchV) ebenfalls bei den Standorten Isar und Philippsburg. Diese maximalen Werte sind gegenüber dem Vorjahr etwas zurückgegangen.

In Abbildung II.1-7 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte berechnete Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0009 mSv und für Kleinkinder 0,0016 mSv am Standort des Kernkraftwerkes Emsland. Dies entspricht 0,3 bzw. 0,5% des Dosisgrenzwertes.

Gemäß des Entwurfes der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche als Emittenten in Frage kommende kerntechnische Anlagen berücksichtigt wurden. Die höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,0013 mSv für Kleinkinder im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt. Die effektive Dosis für Erwachsene betrug hier 0,0008 mSv. Am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An der Donau liegen die effektiven Dosen bei 0,0003 mSv für Erwachsene und 0,0006 mSv für Kleinkinder. Die entsprechenden Werte am Main sind 0,0002 mSv und 0,0003 mSv. Am Rhein wurden effektive Dosen von 0,0001 mSv ermittelt. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.

In Abbildung II.1-8 sind Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht, des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie und der Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz (FRM II) in Garching angegeben. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2008 als höchsten Wert 0,002 mSv (knapp 1% des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,003 mSv (1% des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Karlsruhe auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,003 mSv (unter 1% des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Karlsruhe.

Für die Strahlenbelastung über das Abwasser aus Forschungszentren ergeben sich im Jahr 2008 nach Angaben aus den jeweiligen Jahresberichten in Karlsruhe obere

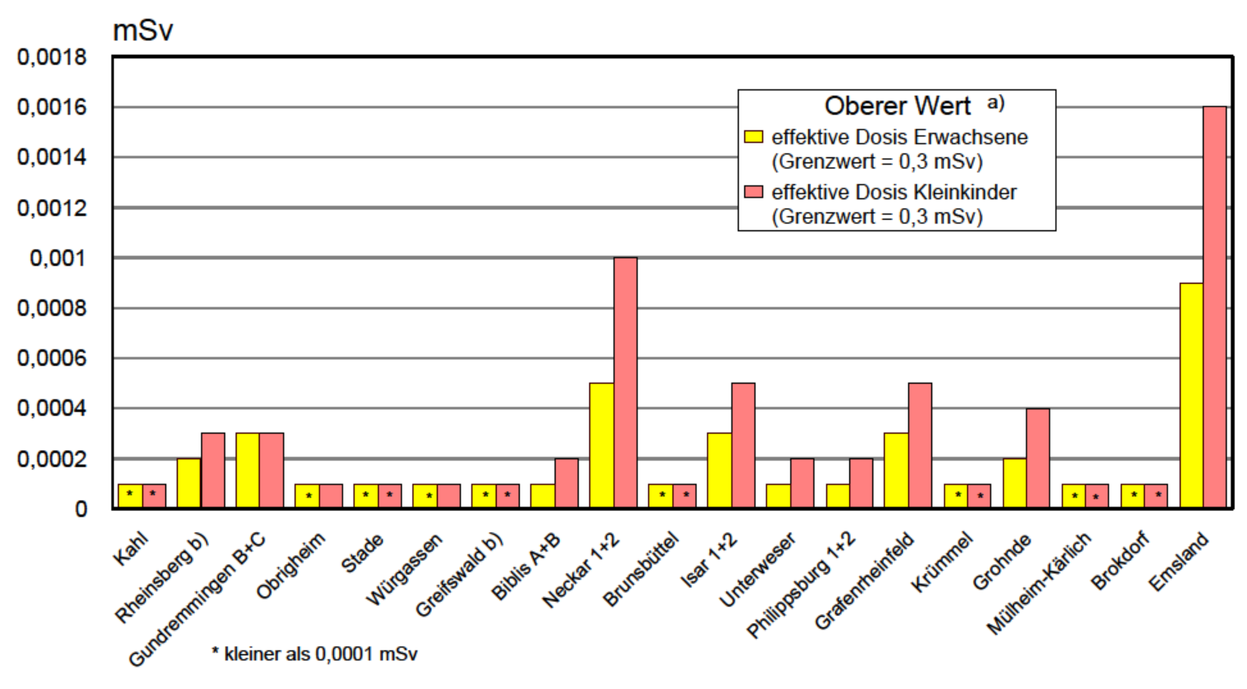
Tabelle II.1-3

Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen (Kernforschung)	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

Abbildung II.1-7

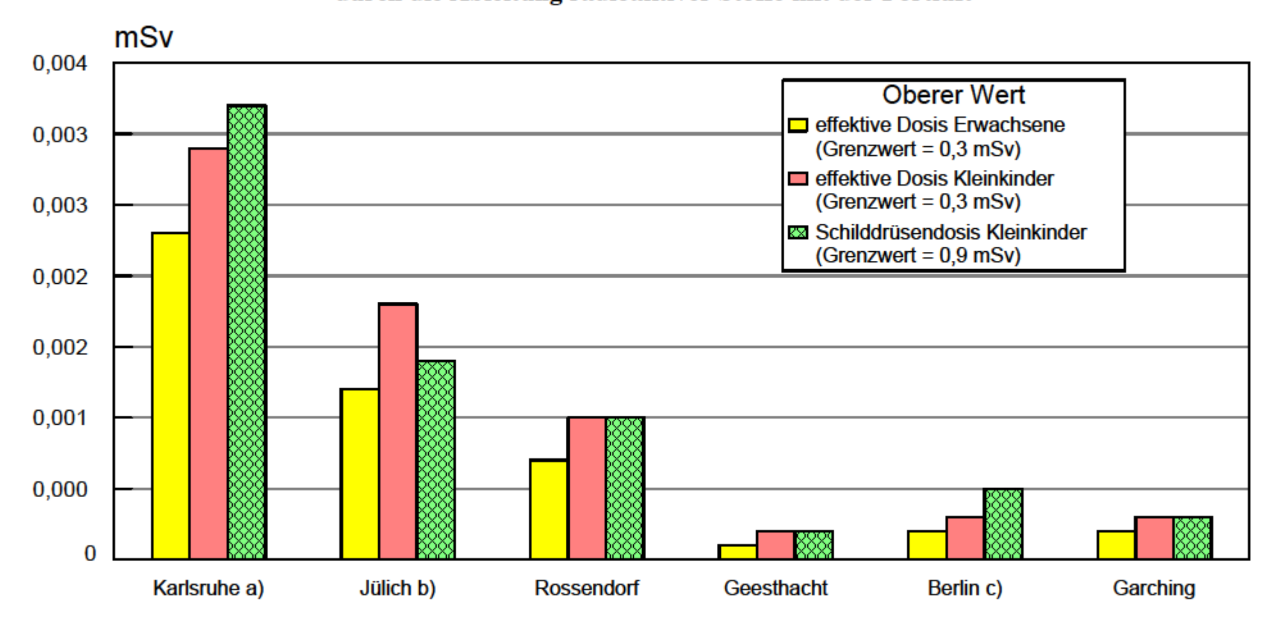
Strahlenexposition im Jahr 2008 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser der Jahre vor 1990 nicht vorliegen

Abbildung II.1-8

Strahlenexposition im Jahr 2008 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft



Die Werte für die Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Dresden-Rossendorf, Geesthacht und HZ Berlin sind den entsprechenden Jahresberichten 2008 entnommen

a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
b) Einschließlich Versuchsreaktor AVR
c) Einschließlich Zentralstelle für radioaktive Abfälle

Werte von < 0,0001 mSv (Erwachsene und Kleinkinder), in Rossendorf 0,0009 mSv (Kleinkinder) sowie in Jülich 0,002 mSv (Kleinkinder).

Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Lingen und Gronau liegen die für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder, sowie die oberen Werte der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft jeweils unter 0,0001 mSv.

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe liegen wie im Vorjahr auch im Jahr 2008 jeweils unter 0,0001 mSv.

Die Hanauer Betriebe wurden bereits 2006 aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen. Die Berichterstattung wurde daher eingestellt.

Der Betrieb grenznaher kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle II.1-3) führte 2008 unter Anwendung des Entwurfs der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV auf dem Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis einer erwachsenen Referenzperson von etwa 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte von etwa 0,01 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Lebensmittelproben aus grenznahen Anbaugebieten konnte im Jahr 2008 Jod-131 nicht nachgewiesen werden.

1.3 Zusammenfassende Bewertung

Aus den für das Jahr 2008 ermittelten Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen jährlichen Ableitungen liegen im Allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Abbildungen II.1-1 bzw. II.1-2 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Schwebstoffe und ca. 10^{10} Bq für Jod-131 zeigt.

Die aus den Jahresableitungen für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition im Jahr 2008 unterschreiten die in § 47 der StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerte und betragen bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 2008 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

2. Sonstige kerntechnische Anlagen

2.1 Zentrale und dezentrale Zwischenlager

Bei den in Betrieb befindlichen zentralen Zwischenlagern für bestrahlte Brennelemente wie dem Transportbehälterlager (TBL) Ahaus, dem TBL Gorleben[2] sowie dem Zwischenlager Nord (Rubenow bei Greifswald) treten im Normalbetrieb keine messbaren Emissionen radioaktiver Stoffe auf.

Dasselbe gilt auch für die in Betrieb befindlichen dezentralen Standort-Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist je nach Lagerbelegung lediglich die Dosis bzw. Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Abbildung II.2-1 zeigt eine Übersicht über die in Betrieb befindlichen Zwischenlager, die Anzahl der Stellplätze und die Belegung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2008.

Bei Einrichtungen wie z.B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Fortluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

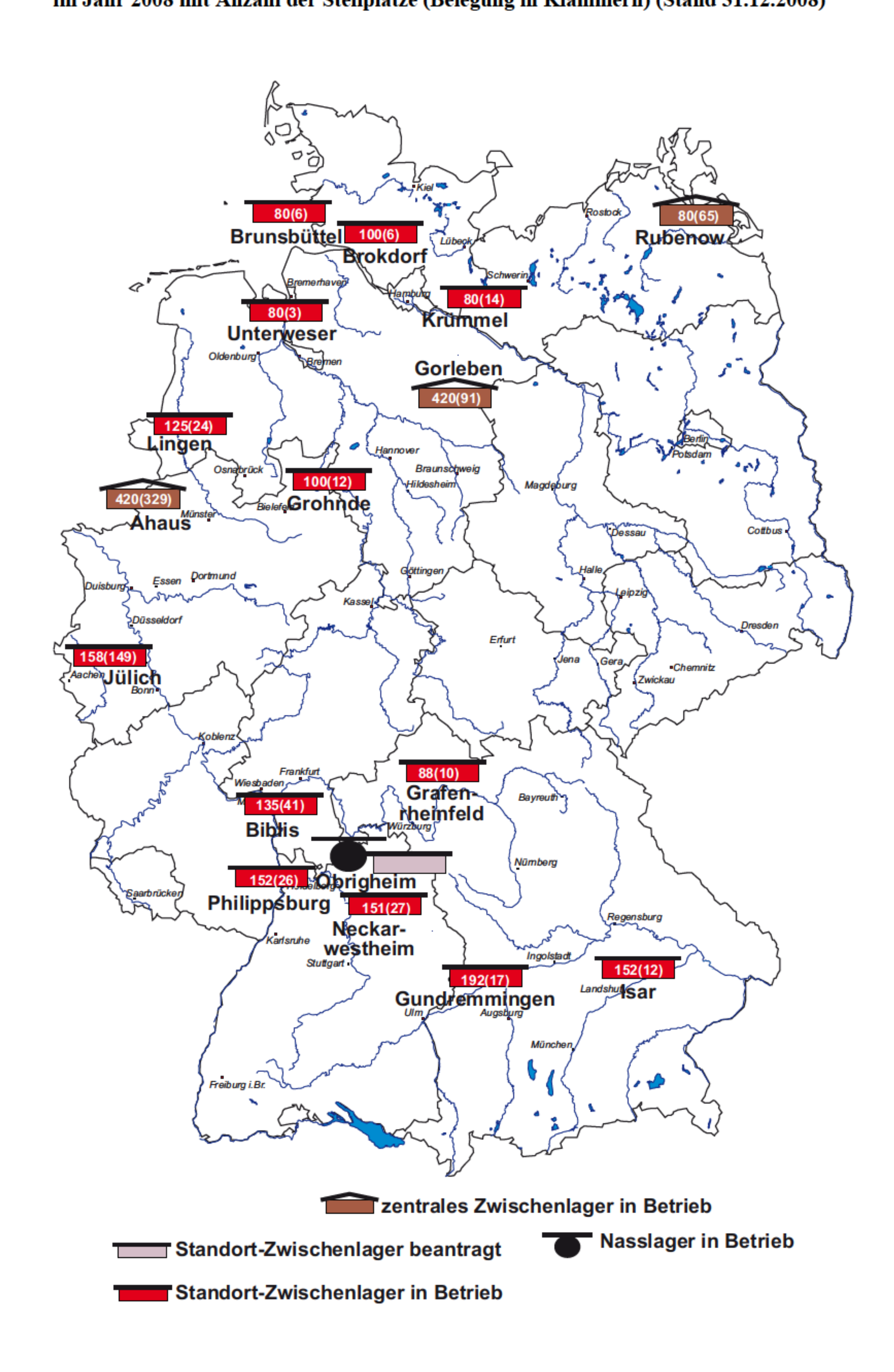
2.2 Endlager Morsleben

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Abbildung II.2-2 dargestellt. Die daraus resultierende Strahlenexposition zeigt Abbildung II.2-3. Der ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0002 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,0004 mSv und für mit Muttermilch ernährte Säuglinge 0,0009 mSv; dies sind 0,07%, 0,11% bzw. 0,28% des Grenzwertes nach StrlSchV. Die Dosis für das rote Knochenmark (am stärksten belastetes Organ) errechnete sich zu 0,0003 mSv für Erwachsene, 0,0009 mSv für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) und 0,0027 mSv für mit Muttermilch ernährte Säuglinge (ca. 0,1%, 0,3% bzw. 0,9% des Grenzwerts). Die höheren Dosiswerte für mit Muttermilch ernährte Säuglinge gegenüber den Kleinkindern sind darauf zurückzuführen, dass durch die Mutter aufgenommene Radionuklide an das gestillte Kind weitergegeben werden. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2008 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene, Kleinkinder und Säuglinge. Bei den Berech-

[2] Das TBL Gorleben ist zusätzlich für die Aufbewahrung hochradioaktiver Abfälle (HAW-Glaskokillen) aus der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente aus deutschen Kernkraftwerken genehmigt.

Abbildung II.2-1

Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente in Deutschland im Jahr 2008 mit Anzahl der Stellplätze (Belegung in Klammern) (Stand 31.12.2008)



nungen wurden nicht identifizierte Betastrahler als Sr-90 angenommen.

2.3 Schachtanlage Asse

In der Schachtanlage Asse II wurde zwischen 1908 und 1925 Kalisalz (Carnallitit) abgebaut. Bis dahin wurden rund 1 000 000 m^3 des Salzgesteins abgebaut. Die feuchten Rückstände aus der Kaliproduktion wurden in das Bergwerk zurückgebracht, um die Abbaukammern wieder zu verfüllen.

Parallel dazu wurde auch Steinsalz abgebaut. Von 1916 bis 1964 entstanden in der Südflanke des Bergwerks 131 Abbaukammern. Aus ihnen wurden 3 350 000 m^3 Steinsalz gefördert. Im Zentralteil wurden ab 1927 zusätzlich 450 000 m^3 sogenanntes Staßfurt-Steinsalz abgebaut. Die beim Steinsalz-Abbau entstandenen Hohlräume wurden nicht wieder verfüllt.

1965 übernahm das Institut für Tieflagerung der damaligen Gesellschaft für Strahlenforschung (GSF, Rechtsnachfolger ist das Helmholtz Zentrum München, HMGU) im Auftrag des Ministeriums für Bildung und Forschung (damals Bundesministerium für Forschung und Technologie) die Schachtanlage.

Nach diversen Umbauten begann im Jahr 1967 die Einlagerung radioaktiver Abfälle. Bis 1978 wurden 124 494 Fässer (Gebinde) mit schwachradioaktiven Abfällen (LAW) in das Bergwerk gebracht. Sie lagern in insgesamt zwölf Abbaukammern: Zehn befinden sich in der Südflanke des Grubenbaues in 750 Metern Tiefe, zwei im Zentralteil in 750 und 725 Metern Tiefe. Die schwachradioaktiven Abfälle machen etwa 60% der radioaktiven Gesamtaktivität der eingelagerten Abfälle aus. Zum 31.12.2008 war im Forschungsbergwerk Asse ein Gesamtinventar von 2,5 x 10^{15} Bq eingelagert.

Etwa 40% des jetzt in der Schachtanlage vorhandenen Inventars an Aktivität gehen auf die mittelradioaktiven Abfälle (MAW) zurück. Sie wurden von 1972 bis 1977 eingelagert. Insgesamt sind es 1 293 Gebinde, die in einer Kammer in 511 Metern Tiefe lagern.

Am 4. September 2008 haben das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und das Niedersächsische Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (NMU) entschieden, die Schachtanlage Asse II zukünftig verfahrensrechtlich wie ein Endlager zu behandeln. Danach war vorgesehen, dass dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) die Betreiberschaft der Asse zum 1. Januar 2009 vom Helmholtz Zentrum München (HMGU) übertragen wird. Das Bundeskabinett machte den Weg dafür mit einem Beschluss vom 5. November 2008 frei. Zum 1. Januar 2009 erfolgte der Wechsel der Betreiberschaft.

Die in Abbildung II.2-2 dargestellten Messwerte zur Schachtanlage Asse beruhen auf Angaben des bisherigen Betreibers (Helmholtz Zentrum München), da die Anlage im Berichtsjahr noch keine kerntechnische Anlage im Sinne des Atomgesetzes war. Die Werte wurden vom BfS stichprobenartig kontrolliert.

Die Strahlenebelastung in Folge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus der Schachtanlage Asse ist in Abbildung II.2-3 aufgeführt. Im Jahre 2008 wurden aus der Schachtanlage Asse keine radioaktiven Stoffe mit dem Abwasser abgeleitet. Die der Schachtanlage aus dem Nebengestein zutretende Salzlösung wurde unter Tage gefasst und bis Mitte des Jahres 2008 auf der Basis eines Sonderbetriebsplans des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie an andere Salzbergwerke zur Flutung von Grubenhohlräumen abgegeben. In der zweiten Jahreshälfte wurde auf Veranlassung des BfS das Lösungsmanagement der Schachtanlage Asse umgestellt und für die Entsorgung der abzugebenden Zutrittslösung ein Freigabekonzept nach § 29 StrlSchV erarbeitet, das Ende 2008 zur Anwendung kam. Bis dahin wurde die Zutrittslösung in Speicherbecken unter Tage und in Containern über Tage zwischengespeichert.

Die Strahlenexposition in der Umgebung der Schachtanlage Asse resultiert daher ausschließlich aus Ableitungen über den Luftpfad. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft ermittelte obere Wert der effektiven Dosis betrug 2008 für Erwachsene 0,006 mSv, für Kleinkinder (Altersgruppe 1 bis 2 Jahre) 0,009 mSv und für Säuglinge 0,010 mSv. Dies sind ca. 2,0%, 3,0% und 3,5% des Grenzwertes gemäß Strahlenschutzverordnung. Die Dosis für das kritische Organ (rotes Knochenmark für Säuglinge unter einem Jahr und Kleinkinder im Alter von 1-2 Jahren; Knochenoberfläche für Erwachsene) wurde mit 0,020 mSv für Säuglinge, 0,015 mSv für Kleinkinder und 0,036 mSv für Erwachsene ermittelt. Dies sind ca. 6,7%, 4,9% und 2,0% des zulässigen Grenzwertes.

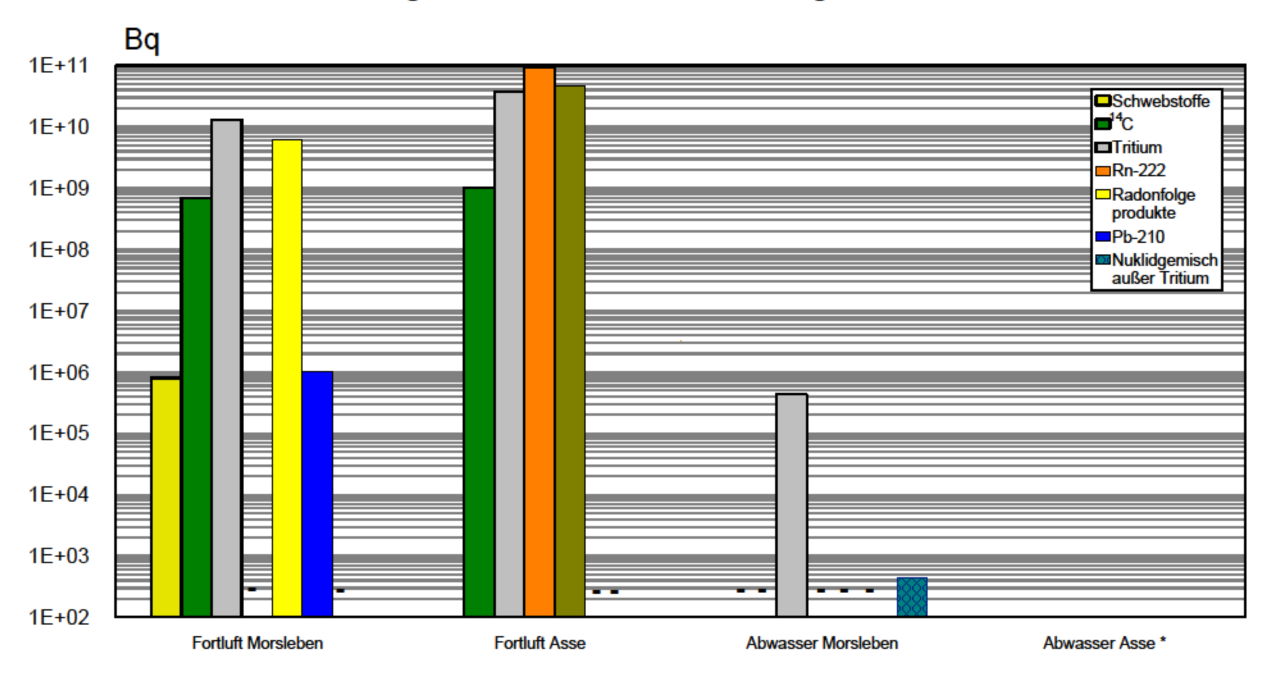
3. Umweltradioaktivität aus Bergbau und Sanierung durch die Wismut GmbH

Bei der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus durch die Wismut GmbH werden radioaktive Stoffe mit den Grubenwässern und der Fortluft in die Umwelt abgeleitet. Für diese Ableitungen werden von den zuständigen Landesbehörden Grenzwerte festgelegt, deren Einhaltung die Wismut GmbH gemäß der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten – REI Bergbau“ nachweisen muss. Die für das Jahr 2008 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Abluft bzw. Abwettern zeigen, dass die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe ausnahmslos eingehalten und überwiegend nur zu einem geringen Teil in Anspruch genommen wurden (Abbildung II.3-1 und Abbildung II.3-2).

Die Genehmigungswerte für Abwässer wurden jeweils aus der genehmigten Wassermenge (Pöhla: 20 m^3/h, Königstein: 650 m^3/h, WBA Ronneburg: 700 m^3/h bis 750 m^3/h, Seelingstädt: 300 m^3/h) multipliziert mit der Maximalkonzentration (Pöhla: 0,2 mg Uran/l, 0,3 Bq Radium-226/l, WBA Ronneburg: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) bzw. mit dem genehmigten Jahresmittelwert der Konzentration (Königstein 0,3 mg Uran/l, 0,4 Bq

Abbildung II.2-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben und der Schachtanlage Asse im Jahr 2008

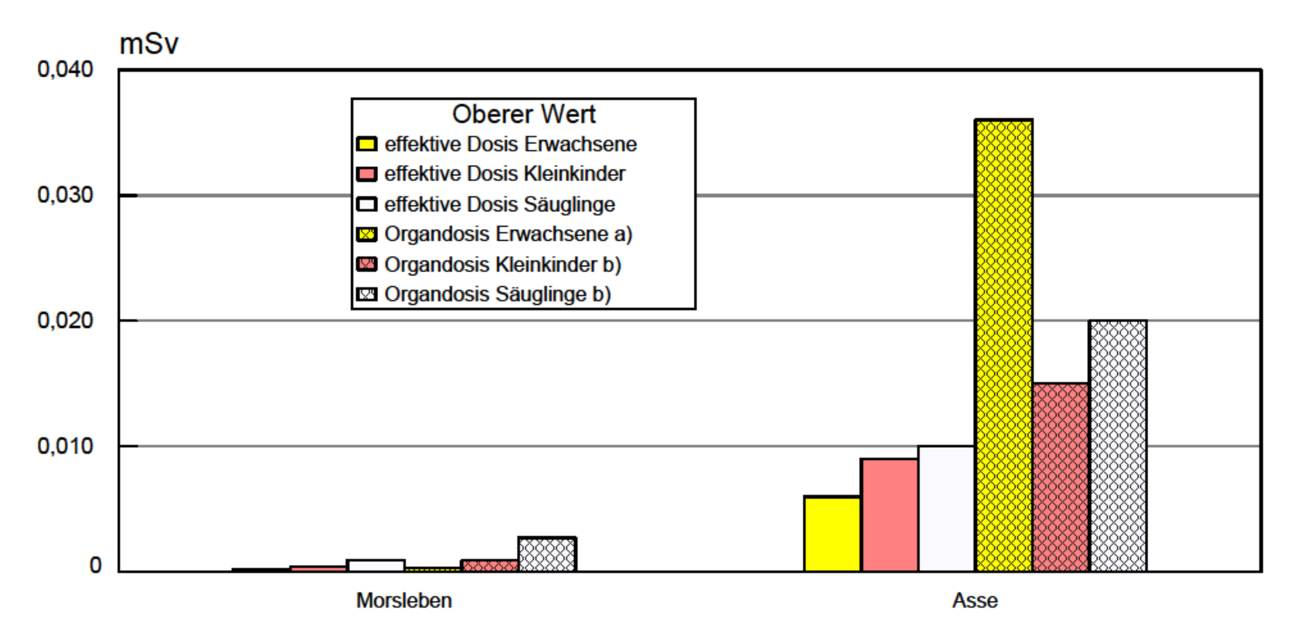


* Da aus der Schachtanlage Asse betriebsmäßig keine Flüssigkeiten abgeleitet werden, findet keine Emissionsüberwachung des Abwassers statt

\- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung II.2-3

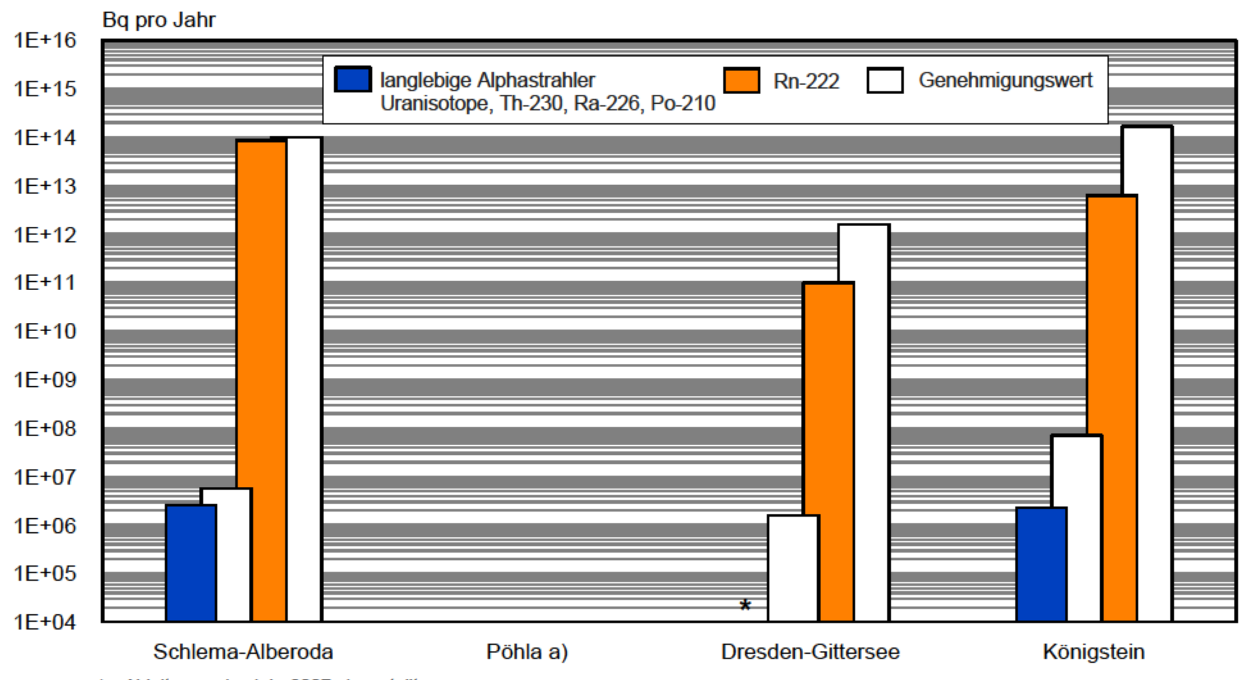
Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Morsleben und der Schachtanlage Asse durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft im Jahr 2008



a) rotes Knochenmark bei Morsleben, Knochenoberfläche bei Asse
b) rotes Knochenmark

Abbildung II.3-1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Fortluft in die Atmosphäre aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2008

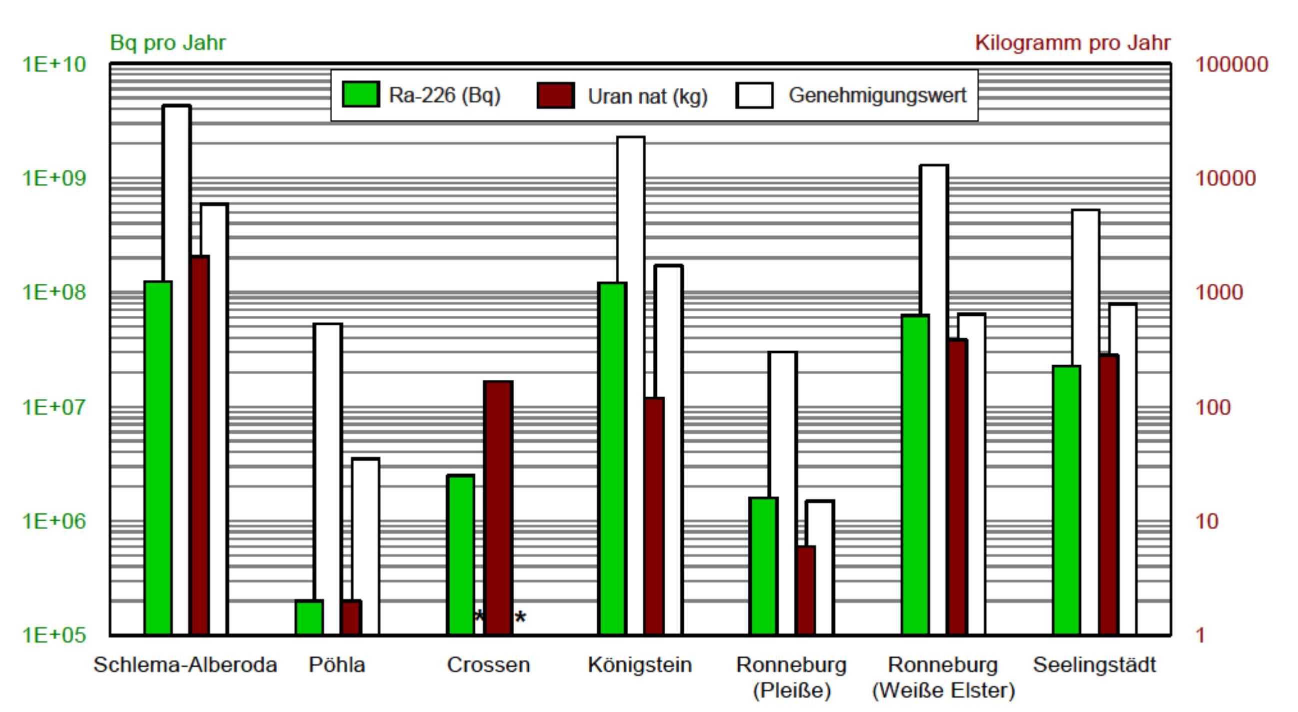


a) Ableitungen im Jahr 2007 eingestellt

* nach Auskunft der zuständigen Landesbehörde wurden Emissionen wegen Konzentrationen unter der Nachweisgrenze nicht bilanziert

Abbildung II.3-2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer aus den Wismut-Sanierungsgebieten im Jahr 2008



* keine Genehmigungswerte

Radium-226/l, Seelingstädt: 0,3 mg Uran/l bzw. 0,2 Bq Radium-226/l) errechnet.

Die Ableitungen mit den Gruben- und Sickerwässern in die Zwickauer Mulde und die Pleiße haben sich gegenüber dem Vorjahresniveau infolge der im Berichtsjahr vorherrschenden meteorologischen Situation, die durch geringe Niederschlagsmengen gekennzeichnet war, verringert. Die Ableitungen stiegen jedoch an Elbe und Weißer Elster. Die Zunahme bezieht sich insbesondere auf die Abwasser- und Uranmengen, während eine stärkere Ableitung von Radium-226 nur an der Weißen Elster erfolgte. Ursache für die erhöhten Mengen am letztgenannten Standort sind die wegen der anfallenden deutlich gestiegenen Grund- und Oberflächenwassermengen im Flutungsverlauf der Grube Ronneburg, die einen erhöhten Durchsatz in der Wasserbehandlungsanlage (WBA) erforderten, und witterungsbedingt höhere Konzentrationen in den Wässern. In Königstein sorgten mehrfach erforderliche Reinigungsarbeiten an der WBA für eine geringere Effizienz bei der Uranfilterung und somit für leicht erhöhte Ableitungen in die Elbe, die jedoch zu keiner Zeit zu einer Überschreitung der genehmigten Maximalkonzentrationen führten.

Wie die Überwachungsmessungen in der Umgebung der Sanierungsbetriebe zeigten, traten in den unmittelbar von diesen Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen zu den Vorflutern auf Grund der geringeren Abflussmenge Uran- und Radium- 226-Konzentrationen auf, die im Vergleich zum natürlichen Niveau deutlich erhöht sind. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt, so dass dadurch keine nennenswerten Strahlenexpositionen entstehen. Dagegen wurden in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (Elbe, Zwickauer Mulde, Weiße Elster und Pleiße) wie schon in den Vorjahren keine oder nur geringfügige Erhöhungen der Urankonzentrationen und der Radium-226-Aktivitätskonzentrationen gegenüber dem natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveau festgestellt.

Auch bei den Ableitungen für Radon-222 aus Abwetterschächten und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Im Ergebnis der fortschreitenden Verwahrung untertägiger Grubenfelder wurden diese Ableitungen am Standort Pöhla eingestellt. Während in Dresden-Gittersee und Königstein die Ableitungen auf dem Niveau des Vorjahres liegen, hat sich am Standort Schlema/Alberoda die Jahresableitung an Radon gegenüber dem Vorjahr um etwa 30% erhöht. Ursache hierfür ist die vollständige Anbindung eines Teils des Grubenfeldes einschließlich des Markus-Semmler-Stollens an den Abwetterschacht 382 nach der Beendigung der Beräumungs- und Rekonstruktionsarbeiten in diesem Gebiet im Dezember 2007.

Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und an einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (z.B. Inversion in Tallagen) Radon-222-Konzentrationen im Freien festgestellt, die bis etwa das Sechsfache des natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveaus betragen können. Radon-222-Konzentrationen im Freien, die aus Sicht des Strahlenschutzes bedeutend sind, treten jedoch in Wohngebieten nur in unmittelbarer Nähe solcher Hinterlassenschaften auf.

Die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht im Besitz der Wismut GmbH befinden, wurden vom BfS im Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ systematisch erfasst, untersucht und radiologisch bewertet. Die Ergebnisse des Projektes stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Behörden in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zur Verfügung. Seit September 2003 werden auf der Grundlage eines Verwaltungsabkommens zwischen dem Bund und dem Freistaat Sachsen ausgewählte Wismut-Altstandorte, wie z.B. im Raum Johanngeorgenstadt, saniert.

4. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung in Forschung, Technik und Haushalt

Die StrlSchV verbietet zum Schutz des Verbrauchers den Zusatz von radioaktiven Stoffen bzw. die Aktivierung bei der Herstellung bestimmter Produkte wie z.B. Spielsachen, kosmetischen Mitteln und Schmuck.

Sie regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

Die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung am Menschen in der medizinischen Forschung ist in der StrlSchV und in der RöV geregelt. Für die Genehmigung dieser Anwendungen ist das Bundesamt für Strahlenschutz zuständig.

4.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrieerzeugnisse wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten radioaktive Stoffe unterschiedlicher Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang, z.B. nach einer Bauartzulassung oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte, vorsieht.

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z.B. Füllstands-, Dicke- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen bedarf in der Regel der Genehmigung oder einer Bauartzulassung.

Die StrlSchV regelt den Umgang mit diesen Industrieerzeugnissen und die RöV den Einsatz von Röntgengeräten, um – neben den Arbeitnehmern – die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere ef-

fektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Verwendung dieser Industrieerzeugnisse bzw. Konsumgüter resultiert, liegt unter 0,01 mSv pro Jahr.

4.2 Hochradioaktive Strahlenquellen

Seit 18./19. August 2005 ist in Deutschland das Gesetz zur Kontrolle hochradioaktiver Strahlenquellen in Kraft (BGBl I S. 2365). Es setzt die Richtlinie 2003/122/EURATOM um, in der für die Mitgliedstaaten der EU einheitliche Vorgaben zur Kontrolle dieser Strahlenquellen verbindlich festgelegt sind. Kern des Gesetzes ist die Einrichtung eines bundesweiten Registers für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen. Durch die zentrale Erfassung dieser Quellen wird sichergestellt, dass zuständige Aufsichts- sowie Sicherheitsbehörden jederzeit Informationen über Art, Aktivität, Besitzherrschaft, Standort, etc. aller in Deutschland eingesetzten hochradioaktiven Strahlenquellen erhalten können.

Das Register für hochradioaktive Strahlenquellen (HRQ-Register) wird durch das Bundesamt für Strahlenschutz betrieben. In diesem Register werden alle Strahlenquellen zentral erfasst, die in Deutschland in Verkehr sind und deren Aktivität die jeweils durch die Strahlenschutzverordnung vorgegebene, nuklidspezifische Aktivität überschreitet (Aktivität größer als 1/100 des A_1-Wertes gemäß StrlSchV, Anlage III, Tabelle 1, Spalte 3a, z.B. Iridium-192 > 10 GBq, Kobalt-60 > 4 GBq). Inhalt und Struktur der zu erfassenden Daten sind durch die o.g. Richtlinie der EURATOM innerhalb der EU einheitlich festgelegt.

In Deutschland existiert für hochradioaktive umschlossene Strahlenquellen ein breites Anwendungsfeld. Während hochradioaktive Quellen in der Medizin überwiegend in der Strahlentherapie eingesetzt werden, verwendet die Industrie sie häufig für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, z.B. für Schweißnahtprüfungen an Rohrleitungen mittels mobiler Strahlenquellen (Cäsium-137 oder Iridium-192). Andere Einsatzbereiche liegen in der Forschung. Hier wird u. a. Kobalt-60 für die Erzeugung von Gammastrahlungsfeldern und Californium-252 für die Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern verwendet.

Ende 2008 waren im Register für hochradioaktive Strahlenquellen insgesamt 540 (2007: 453) Genehmigungsinhaber mit ihren Stammdaten aufgenommen und 47 (2007: 47) Bundes- und Landesbehörden hatten Zugang zum HRQ-Register. Zu 13 800 (2007: 7626) registrierten hochradioaktiven Quellen wurden bis Ende 2008 32 600 Meldungen über deren Erhalt und Abgabe in das Register aufgenommen.

4.3 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden (z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter). Sie unterliegen einer Genehmigungspflicht sofern keine Bauartzulassung vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten wie z.B. in Fernsehgeräten. Die Höchstwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler sind in der RöV § 5, Abs. 2, Satz 1 auf 1 µSv/h in 0,1 m Abstand festgelegt.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung beträgt weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

4.4 Freigabe schwach radioaktiver Stoffe

Beim Rückbau von Kernkraftwerken fallen große Materialmengen an, von denen der überwiegende Teil während des Betriebs und der Stilllegung nicht oder nur schwach radioaktiv kontaminiert oder aktiviert wurde. Den Hauptanteil bilden Baustoffe, die im Zuge der Freigabe, d.h. der Entlassung aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung, wieder dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden.

Zur Frage, unter welchen Bedingungen schwach radioaktive Stoffe freigegeben werden können, hat sich innerhalb der internationalen Strahlenschutzgemeinde ein Konsens gebildet, wonach eine Freigabe solcher Stoffe dann verantwortet werden kann, wenn sie für Einzelpersonen der Bevölkerung nur zu geringfügigen Strahlenbelastungen, die allenfalls im Bereich von 10 Mikrosievert (µSv) im Kalenderjahr liegen, führt. Dieses Schutzziel ist immer Ausgangspunkt bei der Herleitung von Freigabewerten.

Die Freigabe von radioaktiven Stoffen basiert auf der Entscheidung, ob die freizugebenden Stoffe rechtlich als radioaktiv einzustufen sind oder nicht. Die Abgrenzung erfolgt über Entscheidungsmessungen und den Vergleich mit entsprechenden Freigabewerten.

Die EU-Grundnormen (96/29/EURATOM) enthalten keine Freigabewerte. Bislang stellt die EU ihren Mitgliedstaaten für die Festlegung der Freigabewerte nur Grundsätze zu Verfügung. Im Rahmen der bevorstehenden Fortschreibung der EU-Grundnormen wird jedoch die Einführung solcher Richtwerte für die uneingeschränkte Freigabe, bei der keine Bedingungen an die weitere Verwendung und Verwertung der freigegebenen Stoffe gestellt werden, angestrebt. Derartige Datensätze wurden bereits von der Artikel 31-Expertengruppe der EU erarbeitet und in der Radiation Protection Series No.122[3] im Jahre 2000 veröffentlicht. Fünf Jahre später hat die IAEA in der Safety Reports Series No.44[4] ebenfalls die Herleitung von Richtwerten und einen entsprechenden Datensatz veröffentlicht, der für die Freigabe angewandt werden kann.

Freigabewerte können z.B. als spezifische Aktivität (in Bq/g) berechnet und in Tabellenwerken dem Anwender zur Verfügung gestellt werden. Es kann somit direkt über eine Messung der Aktivität des freizugebenden Materials entschieden werden, ob durch eine Freigabe eine Überschreitung der Dosisleistung von 10 µSv pro Person im Kalenderjahr zu erwarten wäre oder nicht. Sollte der gemessene Wert unter dem gesetzlich festgelegten Freigabewert liegen, kann das Material freigegeben werden. Die Errechnung der tabellierten Freigabewerte geschieht mittels komplexer radioökologischer Modelle, die verschie-

[3] RP 122 „Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption“ Part I. Recommendations of the Group of Experts established under the terms of Article 31 of the Euratom treaty, European Commission 2000

[4] Safety Reports Series No.44: “Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance”, IAEA, Wien, 2005

dene Expositionsszenarien, beispielsweise solche, die einen Deponiearbeiter betreffen, beinhalten. Über den Wert entscheidet in der Regel das restriktivste Szenarium, so dass alle weiteren Szenarien hierdurch automatisch abgedeckt sind (konservativer Ansatz). Freigabewerte liegen oft nahe an der technischen Nachweisgrenze für ionisierende Strahlung.

5. Rückstände aus Industrie und Bergbau mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Im Bergbau und bei industriellen Prozessen, die mineralische Rohstoffe oder Kohle verarbeiten, können Rückstände anfallen, die Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen in Konzentrationen enthalten, die über denen in oberflächennahen Gesteinen und Böden liegen. Häufig reichern sich die Radionuklide prozessbedingt in bestimmten Rückständen (z.B. Stäube und Schlämme der Rauchgasreinigung bei der Primärverhüttung in der Eisen- und Nichteisenmetallurgie) oder in technischen Geräten und Einrichtungen (z.B. Verkrustungen der Rohre und Pumpen in der Erdgas- und Erdölförderung) besonders an. Da solche Rückstände entweder in andere Wirtschaftsprozesse gelangen (z.B. Verwertung von Schlacken und Aschen im Haus- und Straßenbau) oder beseitigt werden (z.B. Verbringung auf Deponien), können sich erhöhte Strahlenexpositionen der allgemeinen Bevölkerung oder der mit der Verwertung bzw. Beseitigung befassten Arbeitnehmer ergeben. In Abhängigkeit von den Eigenschaften der Rückstände, den Verwertungs- und Beseitigungsprozessen und den Standortgegebenheiten können diese Strahlenexpositionen in der Größenordnung der mittleren natürlichen Strahlenexposition und auch deutlich darüber liegen. Die Rückstände und die von ihnen ausgehenden Strahlenexpositionen müssen daher im Hinblick auf den vorsorgenden Gesundheitsschutzes im System des Strahlenschutzes angemessen Berücksichtigung finden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden mit der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 weitreichende und detaillierte strahlenschutzrechtliche Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität gestellt (StrlSchV Teil 3 Kapitel 3). Grundsätzlicher Maßstab der Regelungen ist die Einhaltung eines Richtwerts für den Bevölkerungsschutz in Höhe von 1 mSv/a. Die Regelungen stehen im Einklang mit den diesbezüglichen europäischen Vorgaben in der Richtlinie 96/29/EURATOM zu den Grundnormen im Strahlenschutz und setzen diese in deutsches Recht um. Sie gelten bisher ausschließlich für im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung angefallene Rückstände. Mit der aktuellen Novelle der Strahlenschutzverordnung sollen zukünftig auch aus dem Ausland bezogene Rückstände unter die Regelungen fallen.

Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität sowie deren Verbleib werden grundsätzlich durch die zuständigen Landesbehörden, denen der Vollzug obliegt, erfasst. Im Auftrag des BfS wurden in den letzten Jahren Schätzungen der jährlich in der Bundesrepublik Deutschland zu erwartenden Rückstandsmengen durchgeführt. Tabelle II.1-4 gibt hierzu eine Übersicht.

Tabelle II.1-4

Abschätzung der jährlichen Mengen industrieller Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (> 0,2 Bq/g)

Zuordnung der Rückstände gemäß Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)	Masse [t/a]
Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 60
Anlagenteile mit Ablagerungen aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	20 – 400
Schlämme aus der Erdöl- und Erdgasindustrie	50 – 250
Rückstände aus der Aufbereitung von Phosphorgipsen	100
Rotschlämme aus der Bauxitverarbeitung	600000
Rückstände aus der Tantal-Produktion	unbekannt
Pyrochlorschlacken	30
Sinterstäube aus der Roheisenmetallurgie	5000
Hochofenschlämme aus der Roheisenmetallurgie	30000
Stäube aus der Nichteisen-Primärmetallurgie	30000
Sonstige uran- und thoriumhaltige Rückstände	100

Insbesondere bei der Förderung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas können Rückstände mit vergleichsweise hohen Konzentrationen an natürlichen Radionukliden anfallen. Es handelt sich um Inkrustierungen in Aggregaten und Rohrleitungen, die sich über lange Betriebszeiträume absetzen und die die im geförderten Ergas bzw. Erdöl mitgeführte Radioaktivität aufnehmen. Die Rückstände werden - ggf. nach Gewinnung noch enthaltener Wertstoffe (z.B. Quecksilber) – beseitigt, d.h. deponiert. Hierfür wird geprüft, ob die in der Strahlenschutzverordnung für den betreffenden Beseitigungsweg (z.B. Deponierung unter Tage) angegebenen Überwachungsgrenzen (spezifische Aktivität in Bq/g) und sonstigen Anforderungen eingehalten sind. Ist dies der Fall, können die Rückstände ohne weitere Strahlenschutzmaßnahmen beseitigt werden. Der vorgeschriebene Dosisrichtwert wird dann eingehalten. Allerdings liegen die spezifischen Aktivitäten bei Rückständen aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung meist erheblich über den Überwachungsgrenzen. Sie können einige 10 bis mehrere 100 Bq/g (Radium-226, Radium-228), in Ausnahmefällen sogar um 1000 Bq/g betragen. Soweit jedoch der Inhaber der Rückstände für den vorgesehenen Beseitigungsweg nachweisen kann, dass der Richtwert für die Bevölkerungsexposition in Höhe von 1 mSv/a eingehalten wird und hierfür keine fortgesetzten Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich sind, entlässt die zuständige Strahlenschutzbehörde auf Antrag die Rückstände aus der Strahlenschutzüberwachung. Ist die Entlassung aus der Überwachung nicht möglich, verblei-

ben die Rückstände im Regime des Strahlenschutzes. Die zuständige Landesbehörde kann in diesen Fällen anordnen, wie die Rückstände zu beseitigen sind und welche Schutzmaßnahmen Anwendung finden müssen.

Zum Beispiel wurden im Bereich des Schrottrecyclings Metallteile aufgefunden, die Ablagerungen natürlicher Radionuklide aus der Erdgas- und Erdölverarbeitung aufwiesen. Diese Rückstände, die überwiegend ausländischen Schrottlieferern zuzuordnen waren, wurden sichergestellt und sachgerecht beseitigt bzw. ins Ausland zurückgeführt (vgl. Tabelle III.3-1, „Besondere Vorkommnisse“).

Rückstände der Erdgas- und Erdölindustrie sind in der Bundesrepublik Deutschland insbesondere in Schleswig-Holstein (Betrieb einer Nordsee-Ölplattform; kesselsteinartige, feste Ablagerungen in den Förderrohren sowie Schlämme infolge der Trennung von Öl und Wasser) und in Niedersachsen (Nutzung von Erdgasvorkommen; Ablagerungen in den Förderrohren) von Bedeutung. Zudem findet im Freistaat Sachsen eine kommerzielle Gewinnung von Quecksilber aus solchen Rückständen statt.

Der Bundesregierung liegen keine Informationen zu Überschreitungen des Richtwertes von 1 mSv/a durch im Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung verwertete oder beseitigte Rückstände vor.

III. Berufliche Strahlenexposition

Die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition in Deutschland gliedert sich im Wesentlichen in fünf Bereiche:

- Bei Personen, die genehmigungs- und anzeigebedürftige Tätigkeiten in Strahlenschutzbereichen durchführen und eine effektive Jahresdosis von mehr als 6 mSv/a erhalten können, ist die Personendosis zu ermitteln. In der Praxis werden auch Personen, die in Strahlenschutzbereichen mit einer effektiven Jahresdosis von mehr als 1 mSv/a tätig sind, überwacht. Dies geschieht in der Regel durch monatlich ausgegebene Dosimeter (Kapitel III. 1.1).
- Bei Personen, bei denen am Arbeitsplatz die Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den Körper, z.B. über die Atemluft, nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel Radioaktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. Analysen ihrer Körperausscheidungen durchgeführt (Kapitel III.1.2).
- Mit der neuen Strahlenschutzverordnung ist auch Luftfahrtpersonal überwachungspflichtig, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann (Kapitel III. 2.1).
- Mit der neuen Strahlenschutzverordnung wurde außerdem in Betrieben mit erheblich erhöhter Exposition durch natürliche terrestrische Strahlenquellen die Überwachung von Personen eingeführt, die bei Arbeiten eine jährliche effektive Dosis von 6 mSv überschreiten können. Dies betrifft z.B. die Beschäftigten in Schauhöhlen, Wasserwerken oder Heilbädern (Kapitel III. 2.2).
- Berufliche Strahlenexpositionen infolge von Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des Uranerzbergbaues durch Beschäftigte der Wismut GmbH werden nach § 118 StrlSchV erfasst (Kapitel III.2.3).

Die Dosisfeststellung erfolgt in der Regel durch die von Landesbehörden bestimmten Messstellen. Diese melden ihre Dosisfeststellungen zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz. Dort werden die Meldungen aus den o. g. fünf Bereichen personenbezogen zusammengeführt und unter anderem auf Einhaltung der Dosisgrenzwerte ausgewertet. Der Grenzwert der Jahresdosis beträgt einheitlich für die Summe aus allen Bereichen 20 mSv.

1. Zivilisatorische Strahlenquellen

1.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von vier behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Daten werden zentral an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz übermittelt. Die Zahl dieser überwachten Personen betrug im Jahr 2008 insgesamt ca. 323500 und nahm gegenüber dem Vorjahr um 5000 Überwachte zu. Davon waren ca. 250000 im Bereich der Medizin beschäftigt (ca. 5000 mehr als im Vorjahr). Abbildung III.1-1 zeigt die Anzahl der Überwachten seit 1980 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Die Anzahl des fliegenden Personals ist seit 2004 in dieser Abbildung enthalten. Da Personen, die die Messstelle wechselten, bis einschließlich 1998 bisweilen doppelt erfasst wurden, kam es zu Mehrfachzählungen. Seit dem Überwachungsjahr 1999 treten infolge der zentralen, personenbezogenen Auswertung im Strahlenschutzregister diese Mehrfachzählungen nicht mehr auf.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlen, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmen. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahler sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) im Jahr 2008 betrug 46 Personen-Sv (ohne fliegendes Personal).

Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die Abbildung III.1-2. Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen. Für die Gesamtheit aller Überwachten ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,14 mSv. Es ist jedoch zu beachten, dass bei 83% dieser Überwachten während des ganzen Jahres gar keine Exposition auftrat bzw. die Expositionen unterhalb der Erkennungsgrenze von 0,05 mSv der verwendeten Dosimeter lagen. In diesen Fällen wird von den Messstellen als Personendosis

Abbildung III.1-1

Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Deutschland
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

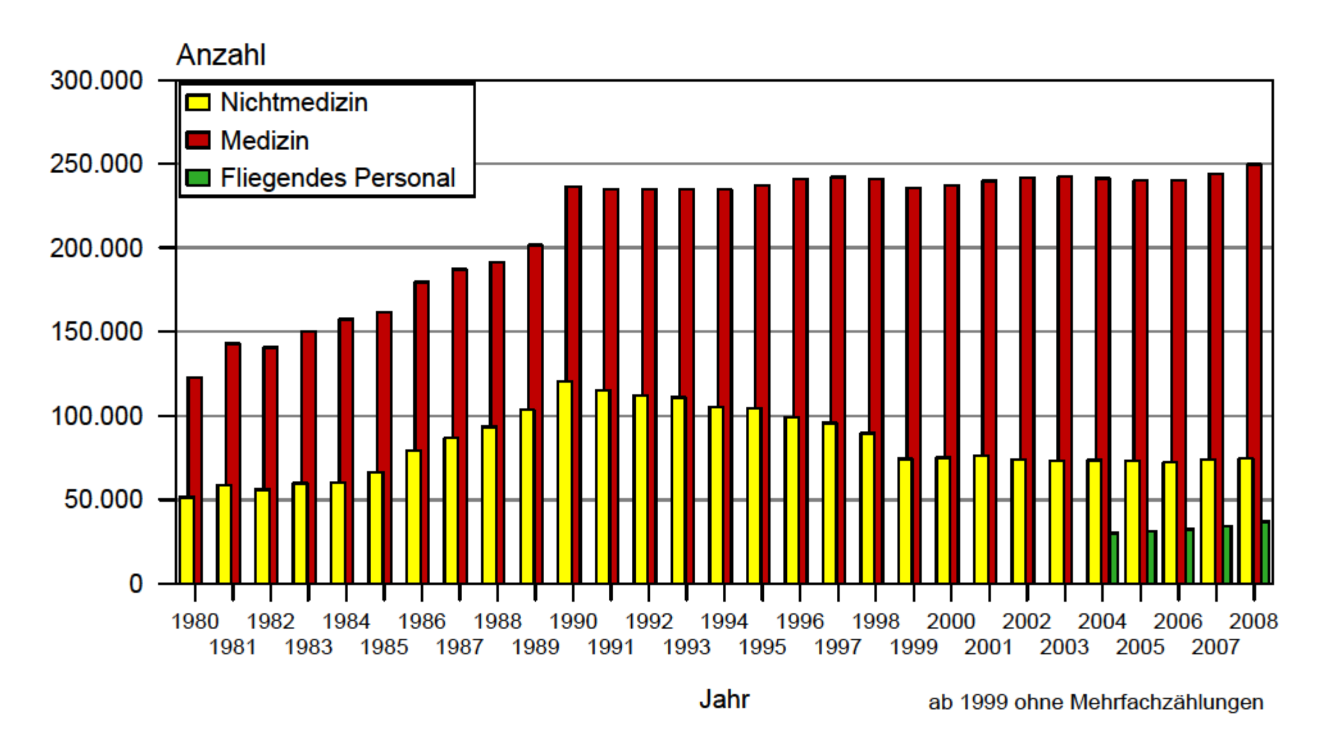


Abbildung III.1-2

Entwicklung der jährlichen Kollektivdosis beruflich Strahlenexponierter und die Verteilung auf Strahlenanwendungsbereiche
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

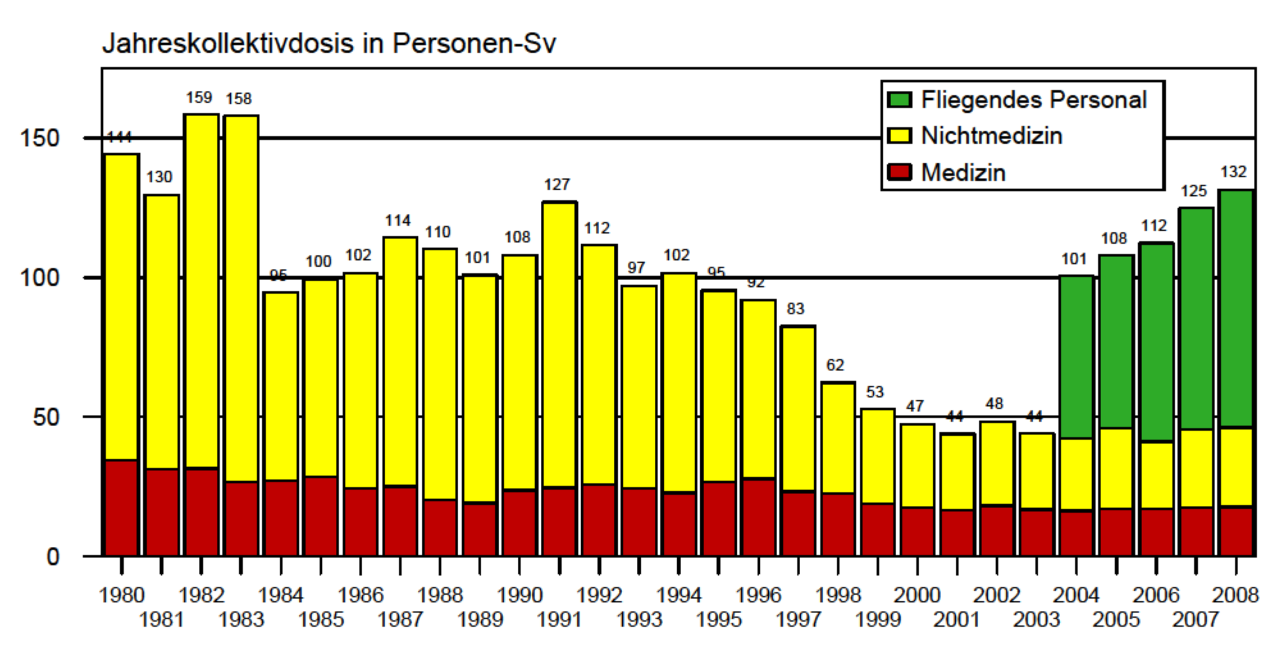


Abbildung III.1-3

Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2008

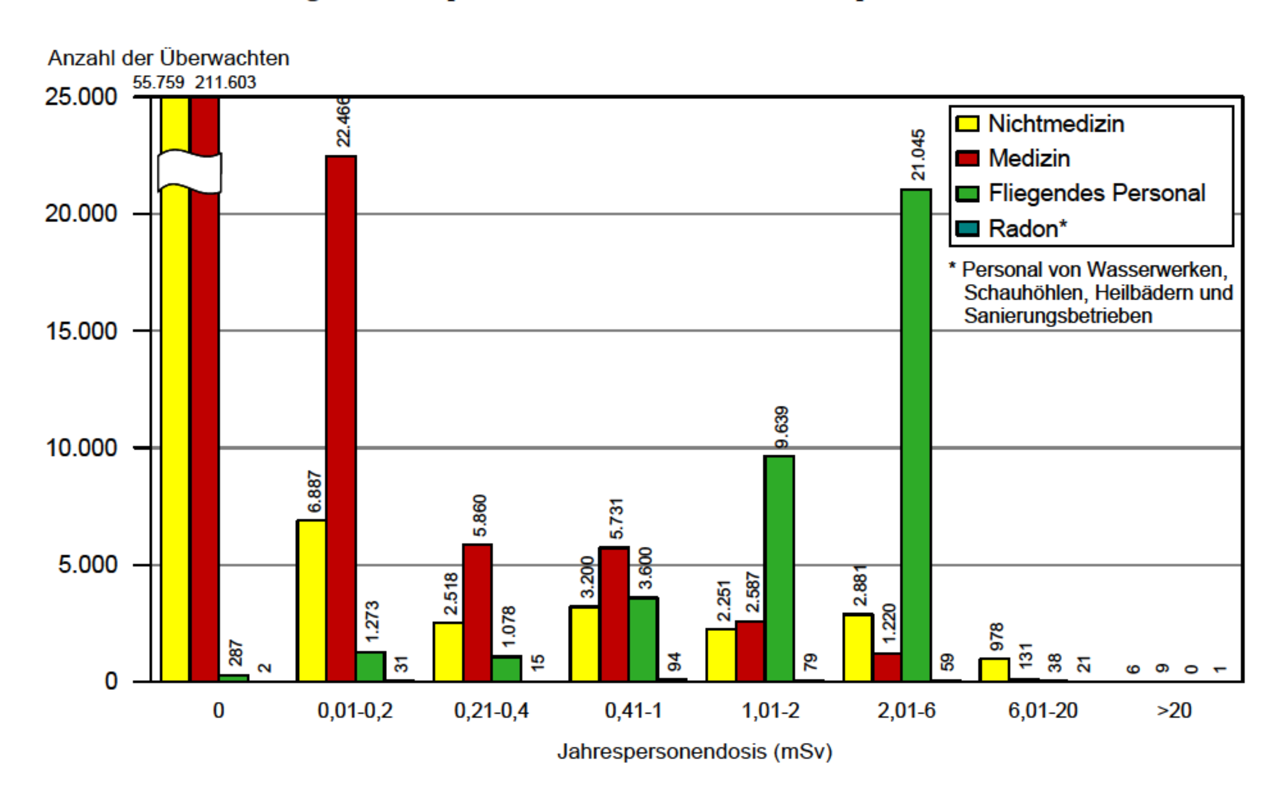


Abbildung III.1-4

Anzahl der Personen mit Ganzkörperjahresdosen über 20 mSv

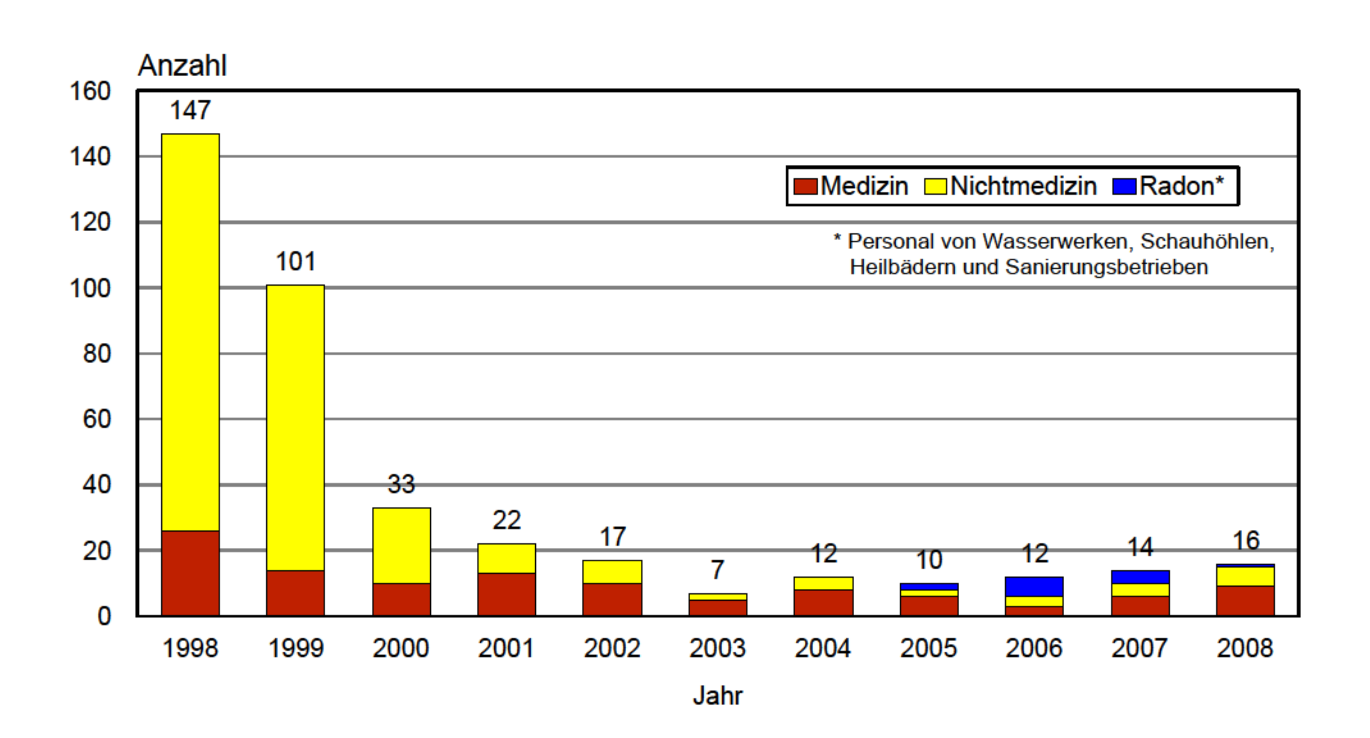


Abbildung III.1-5

Beruflich strahlenschutzüberwachte Personen in Leistungskernkraftwerken

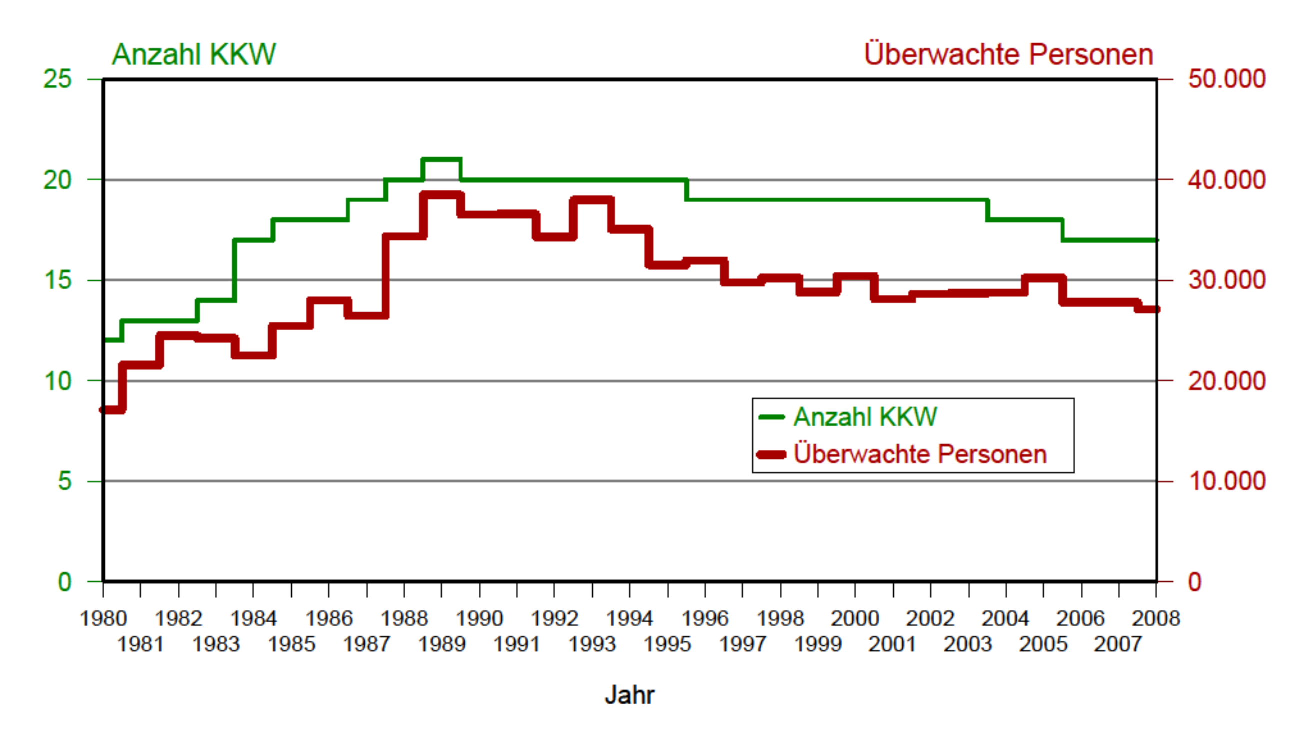
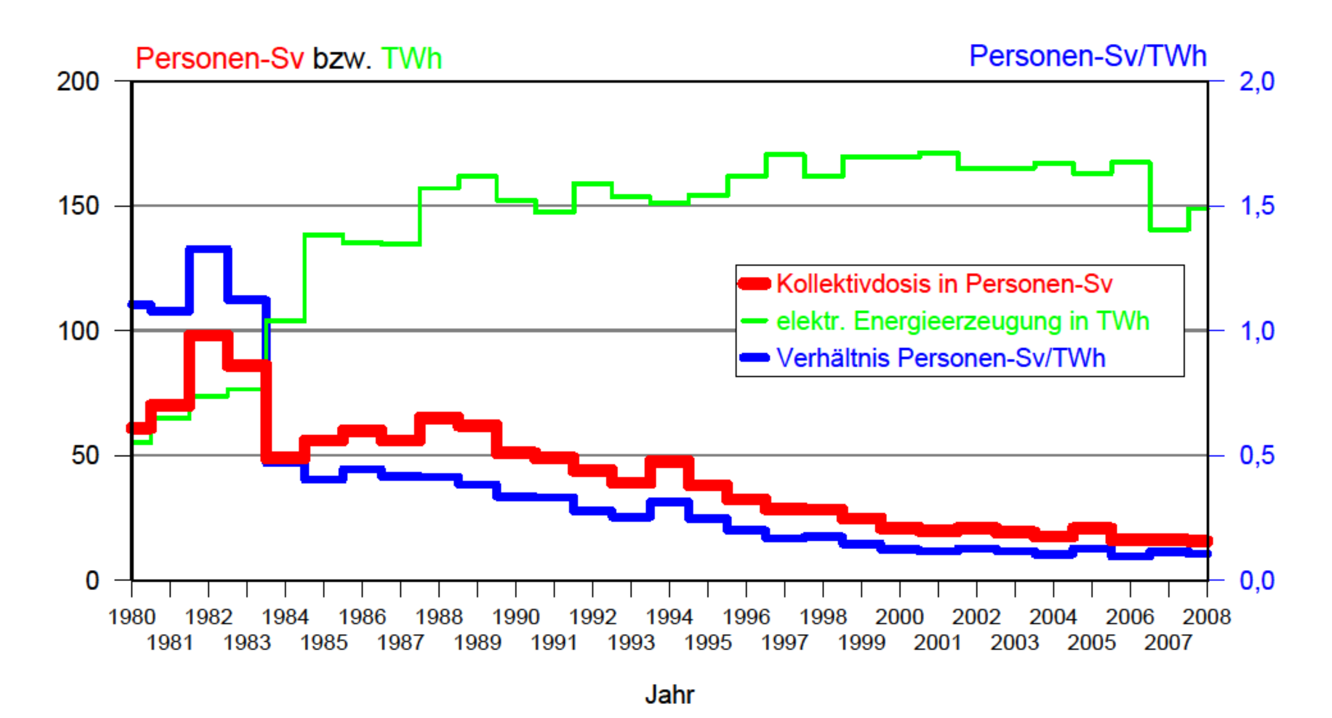


Abbildung III.1-6

Kollektivdosis und Energieerzeugung in Leistungskernkraftwerken



der Wert Null festgesetzt. Im Bereich Medizin erhielten ca. 85% und in den nichtmedizinischen Bereichen 74% keine messbare Personendosis. Abbildung III.1-3 zeigt, wie sich die Überwachten aus den verschiedenen Tätigkeitsbereichen bezüglich ihrer Jahrespersonendosis verteilen. Bei den exponierten Personen sieht man eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosiswerten. Eine Ausnahme bildet das fliegende Personal (s.u.). Bildet man den Mittelwert nur für Exponierte, also für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (57000 Personen), so ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von 0,80 mSv. Dieser Wert liegt im Bereich des Vorjahreswertes (0,79 mSv).

2001 wurde im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM der Jahresgrenzwert für die berufliche Strahlenexposition von 50 mSv auf 20 mSv abgesenkt. Bereits ab 1999 ging die Anzahl der Personen, die mehr als 20 mSv im Kalenderjahr erhalten hatten, deutlich zurück. Der Rückgang erfolgte vor allem im nichtmedizinischen Bereich (siehe Abbildung III.1-4). Abweichungen der Angaben über vergangene Jahre gegenüber dem Vorjahresbericht beruhen auf Nachmeldungen. 2004 sind in dieser Abbildung auch Grenzwertüberschreitungen durch Expositionen aus natürlichen Quellen enthalten (siehe Kapitel III.2, vor allem III.2.2).

Ist nicht auszuschließen, dass im Kalenderjahr ein für die Hände, die Haut oder die Augenlinse festgelegter Grenzwert überschritten wird, dann ist an diesen Körperteilen die jeweilige Teilkörperdosis durch weitere Dosimeter festzustellen. Diese Überwachung wurde im Jahr 2008 bei 20000 Personen durchgeführt. Von den 20000 Überwachten waren 6000 Personen exponiert, d.h. sie wiesen Teilkörperdosen von mehr als 0,5 mSv auf. Die Grenzwerte für Teilkörperdosen wurden 2008 nicht überschritten.

Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den Abbildungen III.1-5 und III.1-6 enthalten.

1.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aufnahme von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analyse ihrer Ausscheidungen überwacht. Im Jahr 2008 meldeten 16 behördlich bestimmte Inkorporationsmessstellen Dosiswerte von 1303 inkorporationsüberwachten Personen (2007: 1392 Personen). Deren Kollektivdosis durch Inkorporation betrug 0,04 Personen-Sv. Die maximale Jahresdosis infolge von Inkorporation betrug 3,9 mSv. In Tabelle III.1-1 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle III.1-1

Verteilung der Jahrespersonendosen durch Inkorporation im Jahr 2008

Dosis durch Inkorporation in mSv	Anzahl der Personen
H = 0	1204
0 < H ≤ 0,1	52
0,1 < H ≤ 0,2	18
0,2 < H ≤ 1,0	15
1,0 < H ≤ 6,0	14
6,0 < H ≤ 20,0	0
H > 20,0	0
Gesamt	1303

2. Natürliche Strahlenquellen

2.1 Flugpersonal

Luftfahrtgesellschaften ermitteln seit 1. August 2003 mit amtlich zugelassenen Rechenprogrammen die Dosis für das fliegende Personal und melden diese Werte über das Aufsicht führende Luftfahrtbundesamt an das Strahlenschutzregister des BfS. In Deutschland wurden im Jahr 2008 ca. 37000 Personen überwacht. Gegenüber 35000 Personen im Jahr 2007 (inkl. Nachmeldungen bis Juli 2009) sind dies 2000 mehr. Diese Zunahme beeinflusste auch den Anstieg der Kollektivdosis von 76 Personen-Sv im Jahr 2007 auf 85 Personen-Sv im Jahr 2008. Die mittlere Jahresdosis stieg infolge der gestiegenen Höhenstrahlung auf 2,3 mSv an. Dieser Anstieg hat eine natürliche Ursache und hängt mit der Änderung der Sonnenaktivität zusammen, die in einem elfjährigen Zyklus zu- und abnimmt. 2008 betrug der höchste Wert der Jahresdosis 7,9 mSv, 38 Personen wiesen mehr als 6 mSv auf (siehe Abbildung III.1-3). Das fliegende Personal zählt sowohl in Bezug auf die Kollektivdosis und die mittlere Jahrespersonendosis als auch nach der Form der Dosisverteilung zu den am höchsten strahlenexponierten Berufsgruppen in Deutschland.

2.2 Wasserwerke, Schauhöhlen, Heilbäder

Nach § 95 StrlSchV hat derjenige, der in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder ausüben lässt, die einem der in der Anlage XI dieser Verordnung genannten Arbeitsfelder zuzuordnen ist, eine auf den Arbeitsplatz bezogene Abschätzung der Strahlenexposition durchzuführen. Wird dabei eine erhöhte Strahlenbelastung festgestellt, so ist die Arbeit bei der zuständigen Behörde anzeigebedürftig und für die betroffenen Personen ist die Körperdosis zu ermitteln. Dazu werden repräsentative Messungen an Arbeitsplätzen durchgeführt. Für jeden Arbeitsplatz werden aus den Messergebnissen die Expositionsdaten abgeleitet, aus denen unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufenthaltszeiten die Körperdosen der Beschäftigten berechnet werden können.

Im Jahr 2008 wurde die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition in Wasserwerken und Schauhöhlen für 84 Personen an das Strahlenschutzregister übermittelt. Von diesen wiesen nur zwei Überwachte keine messbare berufsbedingte Strahlenexposition auf. Die mittlere Jahresdosis dieser 84 Überwachten betrug 4,3 mSv (2007: 86 überwachte Personen, Mittelwert 6,3 mSv). Die Kollektivdosis betrug 0,4 Personen-Sv.

Im Jahr 2008 gab es in einem Betrieb der Wasserversorgung eine Überschreitung (2007: vier Überschreitungen)

des Grenzwertes von 20 mSv. Die höchste effektive Jahresdosis betrug 35 mSv (2007: 41 mSv). Bei 22 Beschäftigten wurde eine jährliche effektive Dosis von mehr als 6 mSv festgestellt (2007: 31 Beschäftigte). Die Beschäftigten von Wasserwerken, Schauhöhlen, Heilbädern und Sanierungsbetrieben sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Abbildungen III.1-1 und III.1-2 nicht enthalten. Die Dosisverteilung dieser Gruppe der Überwachten zusammen mit Beschäftigten der Sanierungsbetriebe ist in Abbildung III.1-3 dargestellt.

2.3 Sanierungsbetriebe

Bei den Beschäftigten der Wismut GmbH, die Arbeiten zur Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten des ehemaligen Uranerzbergbaues ausführen, werden die durch Inhalation von Radionukliden der Uranzerfallsreihe und die durch äußere Gammastrahlung verursachten Körperdosen ermittelt. Hierzu werden Messungen mit personengetragenen Exposimetern durchgeführt.

Im Jahr 2008 wurden für 219 Beschäftigte der Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH die Dosiswerte der durch natürliche Strahlenquellen verursachten Strahlenexposition an das Strahlenschutzregister übermittelt. Alle Überwachten wiesen effektive Jahresdosen von mehr als 0 mSv auf. Die mittlere Jahresdosis betrug 1,1 mSv, die maximale Jahresdosis 4,7 mSv. Die Kollektivdosis betrug 0,2 Personen-Sv (2007: 226 Überwachte, Mittelwert 1,5 mSv, Maximalwert 7,4 mSv).

3. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der StrlSchV und der RöV (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und Röntgeneinrichtungen sowie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2008 enthält Tabelle III.3-1. Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der StrlSchV und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar. Sie dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zukünftig möglichst zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffes (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden.

Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
04.02.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 1,5 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Gering	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.02.08	Verkauf von Aufsteckvisieren mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
15.02.08	Fund einer Anzeigeeinrichtung mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 215 kBq) in einer Schrottladung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
19.02.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Müll (U-238; Ra-226, 30 µSv/h an Containeroberfläche) in einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
20.02.08	Angebot eines Zielfernrohrs mit radioaktiver Leuchteinrichtung (H-3, 3,7 GBq) bei einer elektronischen Auktionsbörse	Verstoß gegen Strahlenschutzvorschriften	Keine	Unbekannt

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
29.02.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (Tc-99m, 1,5 µSv/h am Container) in einem Müllfahrzeug bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
03.03.08	Fund eines radioaktiven Stoffes (Ra-226, 2,4 µSv/h am Container) in einem Müllfahrzeug bei einer Müllverbrennungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
04.03.08	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallteiles (Co-60, ca. 1 MBq) bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung (vermutlich aus einer Charge, bei deren Herstellung eine Co-60-Quelle eingeschmolzen wurde)	Keine	Separierung und sichere Aufbewahrung, Einleitung der ordnungsgemäßen Entsorgung
05.03.08	Unbeabsichtigte Bestrahlung von 4 Technikern bei der Abnahme einer Bestrahlungsanlage in einer Klinik	Organisations- und Aufsichtsfehler in Verbindung mit technischen Defekten (funktionslose Not-Aus-Schalter)	Dosis pro Techniker etwa 120 µSv	Behebung der technischen Mängel, Überprüfung des Personensicherheitssystems und der organisatorischen Änderungen, Erweiterung der täglichen Funktions- und Sicherheitskontrollen
11.03.08	Fund einer Strahlenquelle (Cs-137, 5 µSv/h) in einer Schrottlieferung bei einer Stahlhütte	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Einlagerung
04.04.08	Verlust einer Abschirmung aus abgereichertem Uran für den Strahlerkopf einer Teletherapieanlage bei einem Klinikum	Unzulässige Entsorgung	Gering	Polizeiliche Ermittlungen, erfolgreiches Wiederauffinden von zwei der vier Teile
14.04.08	Verlust des Sondenkopfes (Cs-137, 129 MBq) einer Eindrücksonde in 26 m Tiefe im Erdreich bei einem Tagebau	Bruch des Gestänges in 6 m Tiefe	Keine	Bergung des Strahlers
15.04.08	Fund einer Abschirmung aus abgereichertem Uran (15 µSv/h am Behälter) in einer Schrottladung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
16.04.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (I-131, 0,6 µSv/h an der Oberfläche) in einem Container bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.04.08	Fund einer Abschirmung aus abgereichertem Uran (15 µSv/h am Behälter) in einer Schrottladung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
29.04.08	Fund von drei Strahlern (2 x Am-241, je 2,96 MBq; Ra-226, 230 kBq) auf dem Gelände einer Privatfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
05.05.08	Verlust eines Seeds (I-125, 7 MBq) in einer Klinik	Unbeabsichtigtes Ausscheiden	Keine	Empfehlung zur Benutzung von Urinalsieben in den Krankenzimmern
08.05.08	Fund von radioaktiv kontaminierten Aufnahmeröhren (Th-232, 5 µSv/h an der Röhre) im Elektronikschrott bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
15.05.08	Verlust einer Schulstrahlenquelle (Am-241, 74 kBq)	Unbekannt, evt. Diebstahl	Unbekannt	Wiederauffinden nach behördlichen Ermittlungen
20.05.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (1,5 µSv/h) in einer Lieferung bei einer Rohstoffverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
23.05.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (In-111, 0,23 µSv/h] bei einer Müllverarbeitungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
26.05.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Hausmüll (I-131, Tc-99m) bei einer Müllverarbeitungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.05.08	Fehlbestrahlung einer Patientin bei einer Afterloading-Brachytherapie in einer Klinik	Dislokation des Katheters während der Bestrahlung mit ungeklärter Ursache	Hautrötung und Hautschädigung im Zentrum des bestrahlten Bereichs	Analyse der Dosisverteilung durch MRT-Untersuchung, Unterweisung der betroffenen Mitarbeiter bzgl. der genauen Kontrolle der für diese Strahlentherapie wichtigen Parameter
28.05.08	Fund von Stahlrohren mit radioaktiv kontaminierten Verkrustungen (Th-232, 3 µSv/h am Rohr) in einer Schrottladung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
03.06.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 0,4 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverbrennungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Freigabe zur weiteren Verwendung
04.06.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 7 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverbrennungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
06.06.08	Brand im Steuerteil eines Computertomographen	Fehlfunktion am Gerät	Keine	Ursachenforschung
17.06.08	Fund von neun Kathodenstrahlröhren (Ra-226, 19 µSv/h an der Oberfläche) in einem Container bei einem Schrotthandel	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
20.06.08	Fund eines Stahlrohres mit radioaktiv kontaminierten Verkrustungen (Ra-226, 2,7 µSv/h am Rohr) in einer Schrottladung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
30.06.08	Verlust eines Versandstücks mit Radiopharmaka (Y-90) während des Transports	Manipulation des Vorfalls durch den Fahrer des Transportwagens (Absicht unklar)	Keine	Polizeiliche Ermittlungen nach Abgabe des Versandstücks bei einer Feuerwehr durch den Fahrer
01.07.08	Transport einer Füllstandsmessanlage mit zwei nicht ordnungsgemäß verpackten Strahlenquellen (Co-60, je 7,4 GBq) nach Spanien	Verstoß gegen Transportvorschriften	Max. 6 µSv beim Personal der versendenden Firma, Exposition während des Transports unbekannt.	Nachforschungen
03.07.08	Fund von thorierten Schweißelektroden (Th-232, 10,7 MBq) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
08.07.08	Verlust eines Feuerwehrfahrzeugs mit einem Ionenmobilitätsspektrometer (Ni-63, 555 MBq)	Diebstahl	Keine	Wiederauffinden am 10.07.08, polizeiliche Ermittlungen
18.07.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 0,8 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
21.07.08	Fehlerhafte Exposition einer Mitarbeiterin durch einen Linearbeschleuniger in einer Klinik	Mangelhafte Kontrolle des Raums vor dem Start des Beschleunigers	Max. Handdosis 120 mGy, max. Brustdosis 40 mGy, Gonadendosis wahrscheinlich > 2 mSv, keine Auffälligkeiten nach ärztlicher Untersuchung	Vorübergehendes Verbot der Weiterbeschäftigung der Betroffenen, Installation einer Personenschutzanlage mit Türüberwachung
22.07.08	Versehentliche Exposition eines Mitarbeiters in einer technischen Röntgenanlage bei einer Privatfirma	Ausfall der Sicherheitseinrichtungen auf Grund defekter Bauteile	Abgeschätzte max. Personendosis 120 µSv	Reparatur der Türüberwachungen, Installation zusätzlicher Notschaltmodule

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
23.07.08	Fund einer Neutronenquelle in einer Schrottladung bei einer Metallaufbereitungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
24.07.08	Verlust von zehn Ionisationsrauchmeldern (Am-241, je 14,8 kBq) bei einer Privatfirma	Diebstahl	Keine	Polizeiliche Ermittlungen
04.08.08	Fund eines radioaktiv kontaminierten Metallstücks (Ra-226, 1,5 µSv/h am Metallstück) im Schrott bei einer Privatfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Separierung und ordnungsgemäße Entsorgung
08.08.08	Herausfallen des Strahlers eines Afterloading-Gerätes (Ir-192, 154 GBq) bei einem Strahlerwechsel in einer Klinik	Selbstständiges Entkoppeln des Ausfahrschlauches durch Verschleiß der Anschlussbuchse	Etwa 100 µSv für den mit der Strahlerbergung beauftragten Mitarbeiter	Austausch verschlissener Anschlussbuchsen, Information an die Servicetechniker der Herstellerfirma, Installation eines Firmware-Updates
14.08.08	Verletzung eines Mitarbeiters durch Druckaufbau in einem Kessel bei einem Betrieb zur Einschmelzung von kontaminiertem Material	Allgemeines technisches Versagen	Unbekannt	Unbekannt
19.08.08	Fund eines radioaktiv kontaminierten Stahlteils (Co-60, 300 µSv/h am Fundstück) in einem Container im Hafen	Import von im Ausland unzulässig verunreinigtem Rohmaterial	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
20.08.08	Fehlbestrahlung von Patienten durch einen Linearbeschleuniger in einer Klinik	Fehlerhafte Kollimatorstellung durch möglicherweise defekte Bauteile, genaue Ursache ungeklärt	Fehlbestrahlung des gesunden Gewebes um maximal 3% erhöht, Therapieerfolg bei Patienten nicht gefährdet	Reparatur und Austausch von Teilen, Erstellung einer Arbeitsanweisung zur Kontrolle der Kollimatorstellung, staatsanwaltliche Ermittlungen
21.08.08	Fund von radioaktiv kontaminierten Stahlseilen (Co-60, 44 µSv/h an der Palette) in einer LKW-Ladung an der Grenzkontrolle	Import von im Ausland unzulässig verunreinigtem Rohmaterial	Gering	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
21.08.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 6,4 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
29.08.08	Fund eines Fläschchens mit 5 g Radium (Ra-226, 3 MBq) in Pulverform im Hausmüll bei einer Müllverbrennungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
04.09.08	Verlust einer Neutronenquelle (Am-241/Be, 500 kBq) in einer Schule	Feststellung von fehlender Aktivität bei Entsorgung der Quelle, Ursachenanalyse noch nicht abgeschlossen	Keine	Nachforschungen durch Behörde
08.09.08	Fund von radioaktiv kontaminierten Metallstücken (Ra-226; Co-60) in einer Schrottlieferung bei einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.09.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 1 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
12.09.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Ra-226, 180 µSv/h am Schrottpaket) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
17.09.08	Verlust eines Tresors mit 19 Strahlenquellen (Na-22; Co-60; Kr-85; Am-241; Ra-226)	Unterlassene Kontrollen	Keine	Wiederauffinden des Tresor am 25.09.2008
23.09.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 0,6 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverbrennungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
29.09.08	Fund eines Tachometers mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 18 µSv/h am Fundstück) in einer Schrottladung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung durch Fachfirma
29.09.08	Fund offener radioaktiver Stoffe (uran- und thoriumhaltige Mineralien) in einer Privatwohnung	Illegaler Besitz radioaktiver Stoffe	Keine Kontaminationen feststellbar	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
08.10.08	Versehentliches Einschmelzen von zwei Strahlenquellen (Cs-137, 182 MBq und 110 MBq) in einem Glaswerk	Veränderter Heißluftstrom nach Reparaturarbeiten an einer Glaswanne	Exposition von drei Mitarbeitern mit max. 180 µSv Handdosis, Dichtheit der Strahler war gewährleistet	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
23.10.08	Fund von offenen radioaktiven Stoffen (I-131, 1 µSv/h am Container) im Hausmüll bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.3-1

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgeneinrichtungen

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
27.10.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem metallischem Material (Cs-137, bis zu 770 Bq/g) in einer Lieferung bei einem Kupferwerk	Unzulässige Entsorgung, möglicherweise durch Zermahlen einer unsachgemäß entsorgten Cs-137-Quelle	Keine	Rücktransport zum Absender, polizeiliche Ermittlungen
03.11.08	Fund von radioaktivem Material (Ra-226, bis 17 Bq/g) in einer Schrottlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung, Rücktransport zum Lieferanten
11.11.08	Fund von Zifferblättern mit radioaktiver Leuchtfarbe (Ra-226, 35 kBq) in einer Metallanlieferung bei einer Recyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Vorübergehende Lagerung und ordnungsgemäße Entsorgung
12.11.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Edelstahl (Co-60, bis 33 Bq/g) in einem Container bei einem Schrotthändler	Import von im Ausland unzulässig verunreinigtem Rohmaterial	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
21.11.08	Fehlbestrahlung eines Patienten bei einer intensitätsmodulierten Radiotherapie in einer Klinik	Verschiebung der Strahlenfelder durch einen Eingabefehler	Unbekannt	Ursachenanalyse und Planung von Maßnahmen noch nicht abgeschlossen
09.12.08	Fund von radioaktiv kontaminierten Stangen (Co-60, bis 6 Bq/g) in einer Lieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten
29.12.08	Fund von radioaktiv kontaminiertem Material (Co-60, 19 µSv/h an einem Teil) in einem Container	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung, ggf. Rücktransport zum Lieferanten

IV. Medizinische Strahlenexposition

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen diagnostischen und therapeutischen Stand erreicht. Sowohl bei der Indikationsstellung als auch an die Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. Nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und der Röntgenverordnung (RöV) muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch die medizinische Anwendung bedingte Strahlenexposition soweit zu reduzieren, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen ohne Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe der gewünschte medizinische Effekt ebenfalls erzielt werden kann.

Mit Inkrafttreten der novellierten StrlSchV im Jahr 2001 und der novellierten RöV im Jahr 2002 und der dazugehörigen Richtlinien zur Qualitätssicherung wurde insbesondere der Strahlenschutz des Patienten wesentlich verbessert mit dem mittelfristigen Ziel, die Dosis pro Untersuchung zu reduzieren. Die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie ionisierende Strahlung und radioaktive Stoffe am Menschen angewendet werden, ist mit dem Begriff der „rechtfertigenden Indikation“, d.h. der Notwendigkeit einer Nutzen-Risiko-Abwägung für den individuellen Patienten durch einen Arzt mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz vor jeder Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe, festgelegt und in einem eigenen Paragraphen geregelt. Leider wird die rechtfertigende Indikation zurzeit aus verschiedenen Gründen nicht immer so restriktiv gestellt, wie dies sowohl unter strahlenhygienischen als auch unter gesundheitsökonomischen Gesichtspunkten notwendig ist. Daher wurde von der Strahlenschutzkommission gemeinsam mit den medizinischen Fachgesellschaften eine Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen erarbeitet, die 2006 veröffentlicht wurde[5].

Darüber hinaus erfolgt nach § 83 StrlSchV und § 17a RöV eine Überprüfung der Indikationsstellung durch die ärztlichen und zahnärztlichen Stellen (ÄS). Weiterhin wurden die Anforderungen an die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz und an die Kenntnisse der Personen, die ionisierende Strahlung oder radioaktive Stoffe anwenden bzw. entsprechende Untersuchungen am Menschen durchführen, erhöht. Als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen Diagnostik sind in der Nuklearmedizin wie auch in der Röntgendiagnostik diagnostische Referenzwerte (DRW) zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ÄS Anwender zu finden, bei denen die Dosiswerte ständig ungerechtfertigt über den DRW liegen, und die ggf. vorhandenen systematischen Fehler aufzeigen und beseitigen zu können.

[5] SSK, Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen, Bonn 2006, www.ssk.de/de/pub/kurzinfo/h51.htm

1. Röntgendiagnostik

Das BfS erhebt seit Anfang der 1990er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus. Mit Inkrafttreten der novellierten RöV im Jahr 2002 wurde dem BfS die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung als Amtsaufgabe übertragen.

Die Auswertungen zur Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen basieren hauptsächlich auf Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Es besteht ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer zum BfS.

Die aktuelle Auswertung der Daten zur Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2006. Für die Analyse der Daten wird ein standardisiertes Verfahren eingesetzt, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich ist. Im Bewusstsein, dass systematische Fehler unvermeidbar sind, wird durch die Standardisierung angestrebt, diese Fehler zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.

Für die Auswertung werden auch aktuelle Erhebungen zur Computertomographie-Untersuchungspraxis in Deutschland sowie die Ergebnisse neuerer, vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich für das Jahr 2002, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich) sowie die aktuelle Literatur berücksichtigt. Durch die kontinuierliche Aktualisierung von Modellannahmen erhöht sich im Laufe der Zeit die Genauigkeit der Schätzungen zu Häufigkeit und Dosis von Röntgenanwendungen. Da ursprünglich sehr konservative Annahmen durch validere Schätzungen ersetzt werden, können sich im Vergleich zu den Abschätzungen in den Vorjahresberichten etwas geringere Werte ergeben. Hierbei ist zu beachten, dass die jährlichen Modellanpassungen stets auch auf die Vorjahresdaten angewendet werden, um zeitliche Trends sicherer beurteilen zu können.

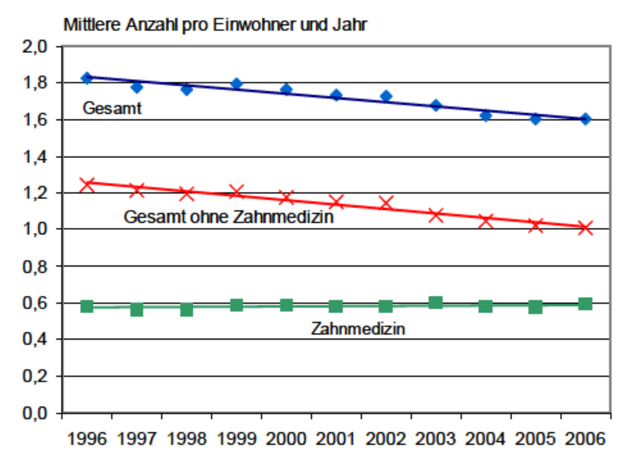
Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996 bis 2006

Im Folgenden beinhaltet der Begriff „Untersuchung“ – gemäß internationaler Standards – alle Röntgenleistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität notwendig sind. So wird z.B. bei einer Angiographie am Herzen nicht jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Zahnaufnahmen werden als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.

Die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2006 nahm insgesamt um 12% ab, wobei der Wert für das Jahr

Abbildung IV.1-1

Häufigkeit von Röntgen- und CT-/-MRT-Untersuchungen pro Einwohner in Deutschland



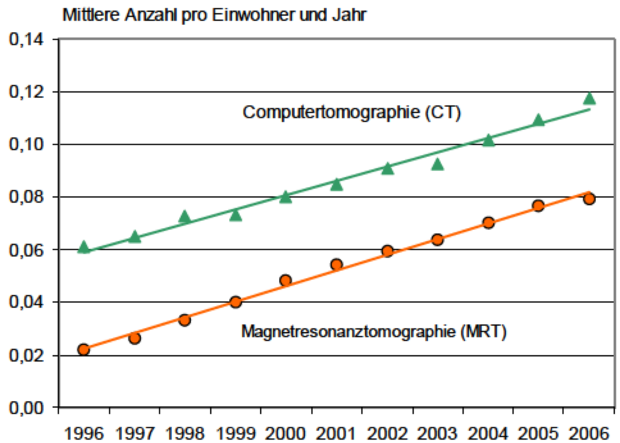
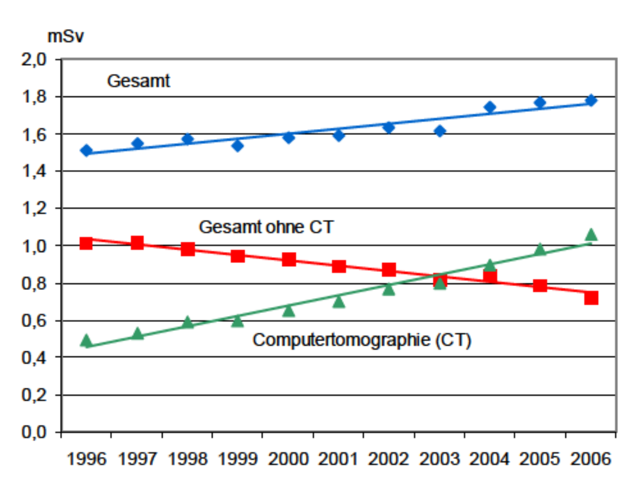


Abbildung IV.1-2

Mittlere effektive Dosis durch Röntgen- und CT-Untersuchungen pro Einwohner und Jahr (mSv)



2006 bei etwa 1,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr liegt (siehe Abbildung IV.1-1). Die zahnmedizinische Röntgendiagnostik beläuft sich nahezu konstant auf etwa 0,6 Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr, was ca. einem Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen entspricht. Neben den zahnmedizinischen Untersuchungen entfällt der größte Teil aller Röntgenuntersuchungen auf das Skelett (d.h. Schädel, Schultergürtel, Wirbelsäule, Beckengürtel, Extremitäten) und auf den Thorax (vergleiche auch Abbildung IV.1-3).

In der Trendanalyse ist am auffälligsten die stetige Zunahme der Computertomographie(CT)-Untersuchungen – insgesamt hat sich die Anzahl der CT-Untersuchungen zwischen 1996 und 2006 nahezu verdoppelt (siehe Abbildung IV.1-1). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den zunehmenden Einsatz neuer Techniken, wie z.B. der Spiral-CT, im klinischen Bereich wider. Ein erheblicher Anstieg ist auch bei den „alternativen" bildgebenden Untersuchungsverfahren, die keine ionisierende Strahlung verwenden, zu verzeichnen, insbesondere bei der Magnetresonanztomographie MRT (beinahe Vervierfachung der Untersuchungs-Anzahl über den Zeitraum 1996 bis 2006, siehe Abbildung IV.1-1).

Im Gegensatz zur CT hat die Anzahl der konventionellen Röntgenuntersuchungen des Thorax und des Bauchraumes einschließlich des oberen Magen-Darm-Trakts, des Gallesystems und des Urogenitaltrakts abgenommen.

In Tabelle IV.1 sind für häufige Röntgenuntersuchungen die Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis dargestellt. Sie basieren sowohl auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom BMU gefördert wurden, sowie auf Literaturangaben. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz" von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehören die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letztere ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße durchgeführt werden.

Die Computertomographie (CT), bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten rotiert, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Diese mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit Ausnahme der Magnetresonanztomographie (MRT) mit keinem anderen radiologischen Diagnoseverfahren erreicht wird. Hier ist eine besonders strenge Indikationsstellung, d. h. die Abwägung zwischen Nutzen und Risiko für den Patienten durch den anwendenden Arzt, erforderlich.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wird das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für die verschiedenen Untersuchungsarten – wie Untersuchungen des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. – ermittelt.

Die mittlere effektive Dosis pro Einwohner in Deutschland stieg von ca. 1,5 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2006 an (siehe Abbildung IV.1-2). Der festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch die Zunah-

Tabelle IV.1

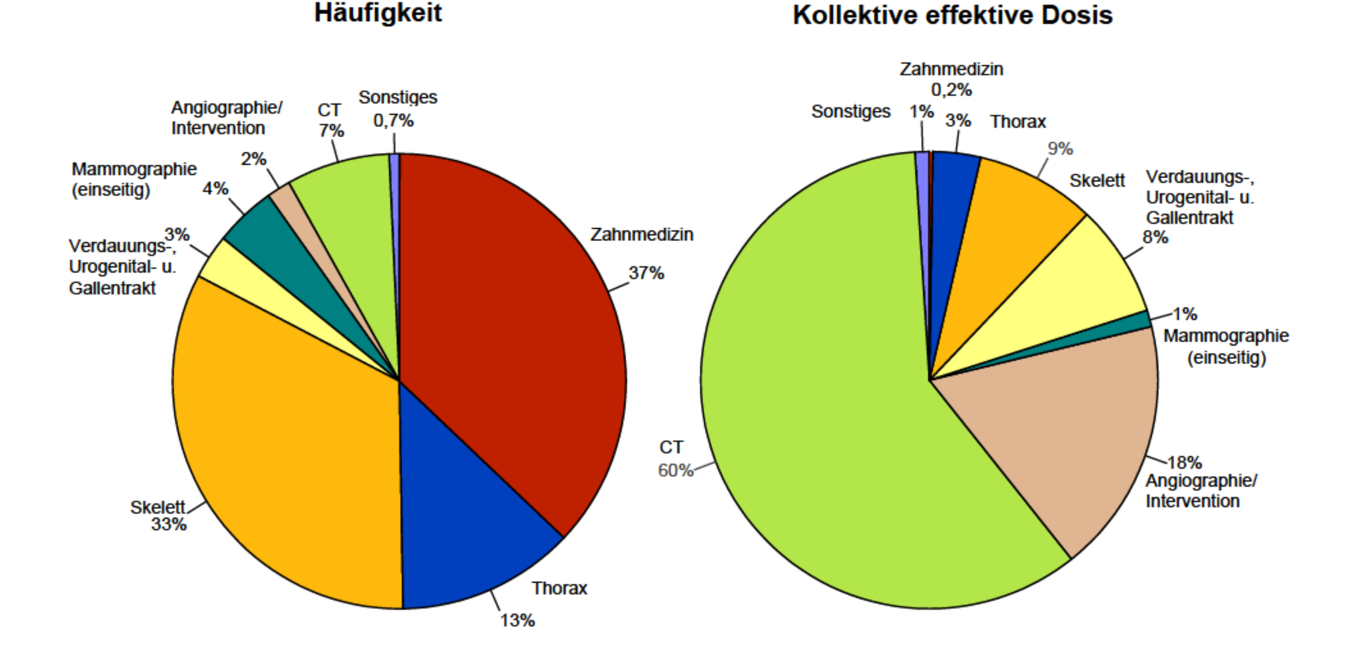
Bereiche mittlerer Werte für die effektive Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten 70 ± 5 kg Körpergewicht

Untersuchungsart	effektive Dosis E [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedmaßen)	< 0,01 – 0,1
Schädelaufnahme	0,03 – 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 – 0,3
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,08
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 – 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 – 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 – 1,8
Beckenübersicht	0,5 – 1,0
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,6 – 1,2
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	6 – 12
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	10 – 18
Galle	1 – 8
Harntrakt	2 – 5
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 – 2
Angiographie und Interventionen	10 – 30
CT*-Untersuchungen	
Kopf	2 – 4
Wirbelsäule / Skelett	2 – 11
Brustkorb (Thorax)	6 – 10
Bauchraum (Abdomen)	10 – 25

* typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

Abbildung IV.1-3

Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Gesamthäufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für das Jahr 2006



me der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Demgegenüber nimmt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren über die Jahre 1996 bis 2006 ab (siehe Abbildung IV.1-2).

Die CT sowie die ebenfalls dosisintensive Angiographie (einschließlich der interventionellen Maßnahmen) tragen weniger als 10% zu der Gesamthäufigkeit bei, ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis betrug im Jahr 2006 jedoch etwa drei Viertel (siehe Abbildung IV.1-3).

Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening)

Brustkrebs ist die häufigste Krebserkrankung und die häufigste Krebstodesursache bei Frauen. Derzeit erkranken jährlich über 57000 Frauen neu an Brustkrebs[6], wobei das mittlere Erkrankungsalter bei ca. 63 Jahren liegt. Im Jahr 2007 verstarben insgesamt etwa 16800 Frauen an den Folgen einer Brustkrebserkrankung. Erwartet wird, dass Röntgenreihenuntersuchungen zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) bei Frauen zwischen 50 und 69 Jahren den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Betroffenen erhöhen können.

Daher hat sich der Deutsche Bundestag am 28.06.2002 für die Einführung eines Mammographie-Screenings entsprechend der strengen europäischen Leitlinien ausgesprochen und die gemeinsame Selbstverwaltung der Ärzte und Krankenkassen gebeten, die hierzu erforderlichen Voraussetzungen – in Form von Richtlinien nach Maßgabe des Sozialrechts – zu schaffen. Zwischen 2004 und Anfang 2009 wurde das qualitätsgesicherte und bevölkerungsbezogene Mammographie-Screening-Programm für alle (symptomfreien) Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren bundesweit eingeführt. Das Mammographie-Screening-Programm wird nun flächendeckend angeboten.

Das Programm erreichte in der Anlaufphase (Einladungsquote ca. 26%, Stand April 2008) eine Teilnahmequote von etwa der Hälfte der angeschriebenen Frauen. Angestrebt wird eine Beteiligungsrate der anspruchsberechtigten Bevölkerung (insgesamt ca. 10,4 Mio. Frauen) von mindestens 70%. Die Screening-Mammographie-Untersuchung wird alle 2 Jahre angeboten. Nehmen 70% der anspruchsberechtigten Frauen an der Screening-Maßnahme teil, so beläuft sich unter Annahme einer effektiven Dosis von 0,5 mSv pro Screening-Untersuchung die daraus resultierende kollektive effektive Dosis auf 2600 Personen-Sv. Dies entspricht weniger als 2% der kollektiven effektiven Dosis, die sich aus allen Röntgenuntersuchungen, die in Deutschland jährlich durchgeführt werden, ergibt. Zu beachten ist, dass in der Abbildung IV.1-3 Screening-Mammographien keine Rolle spielen, da sich die Abbildung auf das Jahr 2006 bezieht. Bei den in der Abbildung IV.1-3 gezeigten Anteilen, die aus Mammographien stammen, wurden zum größten Teil Mammographien berücksichtigt, die als „kurative Mammographien" über die Kassen abgerechnet wurden, also als Mammographien, für die auf Grund eines Symptoms in der Brust

[6] Krebs in Deutschland 2003-2004. Häufigkeiten und Trends. 6. überarbeitete Auflage. Robert Koch-Institut und die Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. (Hrsg.), Berlin 2008

eine Indikation für die Untersuchung bestand. Man geht jedoch davon aus, dass es sich bei einem größeren Prozentsatz dieser „kurativen Mammographien“ um Früherkennungs-Mammographien handelt, die ohne Qualitätssicherung wie sie im Mammographie-Screening-Programm nun vorgesehen ist, durchgeführt wurden („graues Screening“). Es wird erwartet, dass die Anzahl der als „kurative Mammographie“ abgerechneten Untersuchungen abnehmen wird, sobald sich das Mammographie-Screening-Programm etabliert hat.

Da die Screening-Mammographie-Untersuchung für die Frauen mit einer Strahlenbelastung verbunden ist, haben sich BMU und BfS in zahlreichen Gesprächsrunden mit den Ländern, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) und den Spitzenverbänden der Krankenkassen bzw. dem GKV-Spitzenverband für die Einhaltung strenger Qualitätsanforderungen eingesetzt.

Bei der Einführung eines Mammographie-Screening-Programms sind zusätzlich die rechtlichen Vorgaben der Röntgenverordnung, für die das BMU zuständig ist, zu beachten: Röntgenreihenuntersuchungen zur Brustkrebs-Früherkennung stellen nach dem Verständnis der Röntgenverordnung eine Anwendung außerhalb der Heilkunde im engeren Sinne dar, da sie nicht eine Patientin mit einem abklärungsbedürftigen Befund betreffen. Solche Untersuchungen müssen nach § 25 Abs. 1 Satz 2 RöV gesondert zugelassen werden, um sicherzustellen, dass auch der Strahlenschutz in angemessener Weise berücksichtigt wird. Die besondere rechtliche Zulassung ersetzt die sonst bei Röntgenuntersuchungen erforderliche Rechtfertigung im Einzelfall, die voraussetzt, dass der gesundheitliche Nutzen der Untersuchung das damit verbundene Strahlenrisiko überwiegt. Zuständig für solche Zulassungen sind die obersten Landesgesundheitsbehörden, die diese auf der Grundlage der Röntgenverordnung aussprechen. Ohne diese Zulassung darf mit dem Screening im jeweiligen Bundesland nicht begonnen werden. Die erforderlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen im Bereich des Sozialrechtes sind zum 1. Januar 2004 in Kraft getreten.

Anfangs wurde bei der Planung und Einführung davon ausgegangen, dass das Screening nur mit analogen, konventionellen Verfahren erfolgen sollte. Der schnelle Fortschritt konnte jedoch digitale Verfahren nicht mehr ausschließen, zumal die europäischen Standards der „European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (EUREF)“ inzwischen auch digitale Verfahren zulassen.

Im Vorfeld hat die Strahlenschutzkommission zusammen mit dem BfS die Stellungnahme „Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening“ erarbeitet, in der die wesentlichen Anforderungen formuliert wurden, die bei der Einführung der digitalen Mammographie im Screening zu erfüllen sind.

Analoge und digitale Röntgenverfahren unterscheiden sich grundsätzlich:

Analoge Verfahren sind besonders geeignet für die Darstellung kontrastreicher kleiner Strukturen. Digitale Verfahren verwenden keinen Röntgenfilm, die Daten werden mit einem Detektor aufgenommen, in einem Rechner bearbeitet und auf einem Monitor dargestellt. Durch die Bildbearbeitung können auch sehr kontrastarme größere Strukturen sichtbar und beurteilbar gemacht werden. Die Darstellungen sind aber nur schwer vergleichbar: Digital und analog aufgenommene Bilder führen nicht selbstverständlich zu den gleichen Befunden. Der befundende Arzt muss deshalb intensiv geschult werden, um vergleichbare Ergebnisse in der Befundung zu erhalten.

Parallel wurde vom Normenausschuss Radiologie eine sogenannte Public Available Specification (PAS) für digitale Röntgeneinrichtungen entwickelt, um technische Anforderungen für die Abnahmeprüfung der Röntgeneinrichtungen festzulegen. Die für den Vollzug der Röntgenverordnung zuständigen obersten Länderbehörden haben beschlossen, diese Festlegungen dem Vollzug zu Grunde zu legen.

Nach der Vorlage der PAS und der SSK-Stellungnahme wurden die Mindestanforderungen an die apparative Ausstattung der Röntgeneinrichtungen im „Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags Ärzte/Ersatzkassen (EKV) über besondere Versorgungsaufträge im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening“ neu gefasst und damit auch digitale Verfahren zugelassen.

Um den Stand der Einführung des Mammographie-Screening-Programmes in Deutschland darzustellen, hat am 8. April 2008 in Berlin der Kongress "Mammographie-Screening in Deutschland - Erfahrungen und Perspektiven" stattgefunden. Der Kongress wurde vom BfS organisiert. Im Rahmen dieses Kongresses wurden sowohl klinische als auch organisatorische Erkenntnisse, die im Zusammenhang mit Brustkrebs-Früherkennungsmaßnahmen mittels Röntgen-Mammographie von Bedeutung sind, diskutiert und Methoden zur Qualitätssicherung im Hinblick auf den Strahlenschutz sowie zur Evaluation des Screening-Programmes vorgestellt. Die Referenten und Diskussionsteilnehmer repräsentierten die für das deutsche Mammographie-Screening-Programm relevanten Institutionen (Kooperationsgemeinschaft Mammographie, Referenzzentren, Screening-Einheiten, Krebsregister, BMU, SSK, BMG, Kassenärztliche Bundesvereinigung). Zudem berichteten internationale Referenten über die Erfahrungen aus anderen Ländern sowie aktuelle Erfahrungen im Rahmen des Zertifizierungsprozesses der Referenzzentren. In die Diskussion und den Meinungsbildungsprozess wurden insbesondere auch die betroffenen Frauen (Frauenverbände, Selbsthilfegruppen) einbezogen. Die Anzahl der Teilnehmer hat mit ca. 350 die Erwartungen weit übertroffen.

2. Nuklearmedizinische Diagnostik

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder

Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten, z.B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und bildlich darstellbar. Die diagnostische Anwendung von radioaktiven Arzneimitteln ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten, bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Nuklid Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Mit der Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z.B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen. Die PET ist ein innovatives, eingeführtes Bildgebungsverfahren, das – ggf. in Kombination mit der Computertomographie (PET/CT) – die Leistungsfähigkeit der Diagnostik in der Neurologie, Kardiologie und vor allem in der Onkologie deutlich verbessert hat.

Im Jahr 1996 wurde begonnen, die Häufigkeit von Radionuklidapplikationen und die daraus resultierenden effektiven Dosen bei ambulanten und stationären Patienten in Deutschland zu ermitteln. Für die Beurteilung der Strahlenexposition von Patienten durch die nuklearmedizinische Diagnostik liegen deshalb Daten aus zehn Jahren vor.

Pro Jahr werden in Deutschland ca. 4,2 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 50 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung IV.2-1).

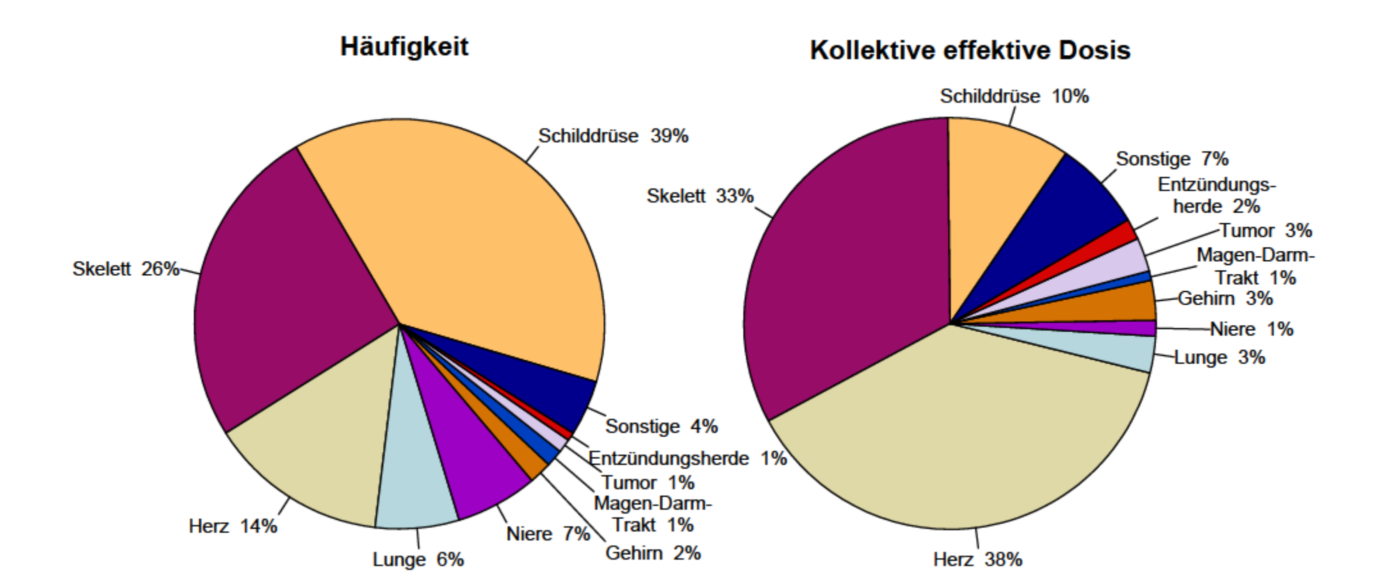
Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 11 500 Personen-Sv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,13 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich drei nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich, nämlich die Myokard-, Skelett-, und Schilddrüsenszintigraphie (Abbildung IV.2-1).

Die mittleren effektiven Dosiswerte nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei Entzündungsuntersuchungen mit 8,2 mSv am höchsten, gefolgt von Herzszintigraphien mit 7,4 mSv und Tumorszintigraphien mit 6,5 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine recht niedrige effektive Dosis von durchschnittlich 0,7 mSv pro Untersuchung auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (durchschnittlich 0,5 mSv pro Untersuchung). Insgesamt betrug die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung 2,7 mSv.

Verglichen mit der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik (1,8 mSv pro Person pro Jahr) ist die Exposition durch die nuklearmedizinischen Diagnostik relativ gering. Unabhängig davon sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte und die Verwendung neuer

Abbildung IV.2-1

Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 1996-2006



Radiopharmaka. So führt z.B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Myokardszintigraphie.

3. Therapie mit ionisierender Strahlung

Die Zahl der jährlich auftretenden Neuerkrankungen an Krebs in Deutschland wird auf ca. 230000 Erkrankungen bei Männern und auf ca. 206000 bei Frauen geschätzt[6]. Das mittlere Erkrankungsalter liegt für Männer und Frauen bei etwa 69 Jahren. Die Therapie erfolgt üblicherweise als Kombination von Chirurgie, Strahlentherapie und Chemotherapie, wobei die Strahlentherapie in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt hat. Ziel in der Strahlentherapie ist es, das Tumorgewebe unter größtmöglicher Schonung des umgebenden gesunden Gewebes zu zerstören. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit von Strahlentherapeuten und Medizinphysik-Experten. Ständige Qualitätssicherung und -kontrolle sind in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen in der Diagnostik, der medizinischen Strahlenphysik, der Strahlenbiologie und der Informatik sowie deren interdisziplinären Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen (ultraharte Röntgenstrahlen) oder schnelle Elektronen erzeugt werden. Die Bestrahlungsplanung erfolgt heutzutage meist mithilfe der Computertomographie, mittels derer ein dreidimensionales Modell der Bestrahlungsregion erstellt wird.

Röntgenstrahlen werden beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z.B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbeschleunigers, so dass mit Röntgenstrahlen eine ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht werden kann. Die Therapie mit Röntgenstrahlen wird daher fast nur noch zur Behandlung von Hauttumoren sowie von entzündlichen oder degenerativen Erkrankungen an Gelenken und am Bandapparat eingesetzt.

Bei der so genannten Brachytherapie erfolgt die Bestrahlung mithilfe einer Strahlenquelle, die innerhalb oder in unmittelbarer Nähe des zu bestrahlenden Gebietes im Körper des Patienten platziert wird. Ein typisches Anwendungsgebiet der Brachytherapie ist z.B. die Behandlung von Prostatakarzinomen.

Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ [7] wurden im Jahr 2008 in den sechs Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (17,3 Mio. Einwohner, ca. 21% der bundesdeutschen Bevölkerung) etwa 58200 Patienten einer Strahlentherapie unterzogen. Etwa 12% der Patienten wurden wegen einer gutartigen Erkrankung strahlentherapiert. Werden diese Zahlen auf Deutschland hochgerechnet, so erhalten jährlich etwa 277000 Patienten eine Strahlentherapie. Nach Angaben der „Strahlentherapie in Norddeutschland“ nimmt die Anzahl der Strahlentherapien stetig zu, zwischen 1999 und 2008 war ein Anstieg von mehr als 40% zu verzeichnen.

4. Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen

In der Radionuklidtherapie wird die Möglichkeit genutzt, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Das bekannteste Beispiel ist das Radionuklid Jod-131, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung Tumorzellen vernichtet. Jährlich werden in Deutschland etwa 60000 bis 70000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d.h. die Behandlung spezieller Gelenkserkrankungen, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmendes Interesse gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Tumorzellen gezielt durch Strahlung zu zerstören.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie hohe Dosen notwendig sind, um die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der radiologischen/nuklearmedizinischen Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Strahlenexposition zu bewerten.

5. Bewertung der medizinischen Strahlenexposition

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland nach den vorliegenden Daten bezüglich der jährlichen Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Einwohner und Jahr im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata in den verschiedenen Ländern sehr verschieden und zum Teil auch nicht hinreichend transparent sind.

Nach aktuellen Daten aus der Literatur lag in den USA und in Japan im Jahr 2000 allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis für alle in Deutschland durchgeführten diagnostischen Röntgenleistungen. Im Jahre 2006 betrug die effektive Dosis pro Kopf aus Röntgen- sowie nuklearmedizinischer Diagnostik in den USA etwa 3 mSv, wobei die CT bzw. nuklearmedizinische Untersuchungen zur kollektiven effektiven Dosis etwa die Hälfte bzw. ein Viertel beitrugen.[8]

[7] H.-J. Brodersen, Strahlentherapie in Norddeutschland 2008/09 – Daten zur Radioonkologie au s6 Bundesländern. Radioonkologie in den Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, 15. Auflage, 21. März 2009, www.strahlentherapie-nord.de

[8] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, NCRP Report No. 160, 2009

Um eine solide Grundlage für einen internationalen Vergleich – zumindest auf EU-Ebene – zu erhalten, wurde Ende des Jahres 2004 die mit EU-Mitteln geförderte Arbeitsgruppe DOSE DATAMED gebildet, wobei Deutschland durch das BfS vertreten wurde. Ziel des EU-Vorhabens war es, die Methoden zur Datenerfassung und -auswertung in den zehn teilnehmenden Länder zu analysieren sowie eine einheitliche Methode für die Bewertung im internationalen Vergleich zu entwickeln. In allen zehn DOSE-DATAMED-Ländern tragen Computertomographien, Angiographien und Interventionen den größten Teil zur kollektiven effektiven Dosis bei. Für alle Röntgenuntersuchungen zusammen genommen (ohne Zahnmedizin) unterscheiden sich die Länder bezüglich der Häufigkeit maximal um den Faktor 2,5 und bezüglich der kollektiven effektiven Dosis maximal um den Faktor 4,5 mit den höchsten Schätzwerten für Belgien, Deutschland und Luxemburg und den niedrigsten für Dänemark, die Niederlande und das Vereinigte Königreich. Die zum Teil beträchtlichen Unterschiede bei der Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen und der zugehörigen kollektiven effektiven Dosis, die in den zehn Ländern beobachtet wurden, wurden von der DOSE-DATAMED-Gruppe als real eingeschätzt. Die Unterschiede sind sehr viel größer als die statistischen Unsicherheiten, die unvermeidbar mit jeder Datenerhebung und -analyse einhergehen. Die Unterschiede können zum großen Teil auf die verschiedenartigen Gesundheitssysteme der betrachten Länder zurückgeführt werden. Der Bericht über die vergleichende Bewertung sowie Empfehlungen zur Datenerfassung und -auswertung wurden im Jahr 2008 von der Europäischen Kommission gebilligt. Der Bericht und die Empfehlungen wurden auf der Internet-Seite der Europäischen Kommission veröffentlicht[9].

Eine Abschätzung des mit der medizinischen Strahlenexposition verbundenen möglichen Risikos macht nur dann Sinn, wenn sich diese auf den Kreis der betroffenen Personen, also die Patienten, bezieht. Dabei darf auch der reale diagnostische oder therapeutische Nutzen für die Patienten nicht unberücksichtigt bleiben. Im Vergleich zur Normalbevölkerung ist die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach radiologisch untersucht. In die strahlenhygienische Bewertung muss somit insbesondere auch die Indikationsstellung einbezogen werden. Eine Machbarkeitsstudie zur Konkretisierung der Datenbasis in diesem Bereich wurde vom BfS initiiert: Von Patienten, die zwischen 2000 und 2005 am Klinikum Großhadern (München) mindestens eine Röntgenuntersuchung erhalten haben, wurden für die zehn häufigsten Krebserkrankungen alle relevanten Patienten- und Untersuchungs-Daten gesammelt. Nach den Ergebnissen dieser Studie entfallen - hochgerechnet auf Deutschland - mindestens 10% der kollektiven effektiven Dosis aller Röntgenuntersuchungen auf Krebspatienten. Da für die Patienten dieser Studie keine Röntgenuntersuchungen anderer Einrichtungen berücksichtigt werden konnten, beträgt der tatsächliche Anteil vermutlich eher 15 bis 20%. Weitere Ergebnisse der Studie sind, dass der Anteil der CT an allen Röntgenuntersuchungen bei Krebspatienten weit höher ist als bei der durchschnittlichen Bevölkerung (über 80% im Jahre 2005) und dass die mittlere kumulative Dosis durch Röntgenuntersuchungen bei Krebserkrankungen mit schlechter Prognose (z.B. Pankreaskarzinom) deutlich höher ist als bei Krebserkrankungen mit vergleichsweise guter Prognose (z.B. Brustkrebs).

[9] European Commission, Radiation Protection No. 154, European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Final Report with two Annexes, Directorate-General for Energy and Transport (TREN-H4) 2008 http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/154_en.zip

Weiterhin ist bei einer strahlenhygienischen Bewertung der medizinischen Strahlenexposition zu berücksichtigen, dass es sich bei Patienten häufig um ältere Menschen handelt, für die die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung deutlich geringer ist als für jüngere Personen. So wurden 2002 etwa 60% der Röntgenaufnahmen im Krankenhausbereich für Patienten veranlasst, die 60 Jahre oder älter sind.

V. Fall-out durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl und durch Kernwaffenversuche

1. Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2008 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Cäsium-137 verursacht. Andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch ca. 60% der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3% ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,01 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv).

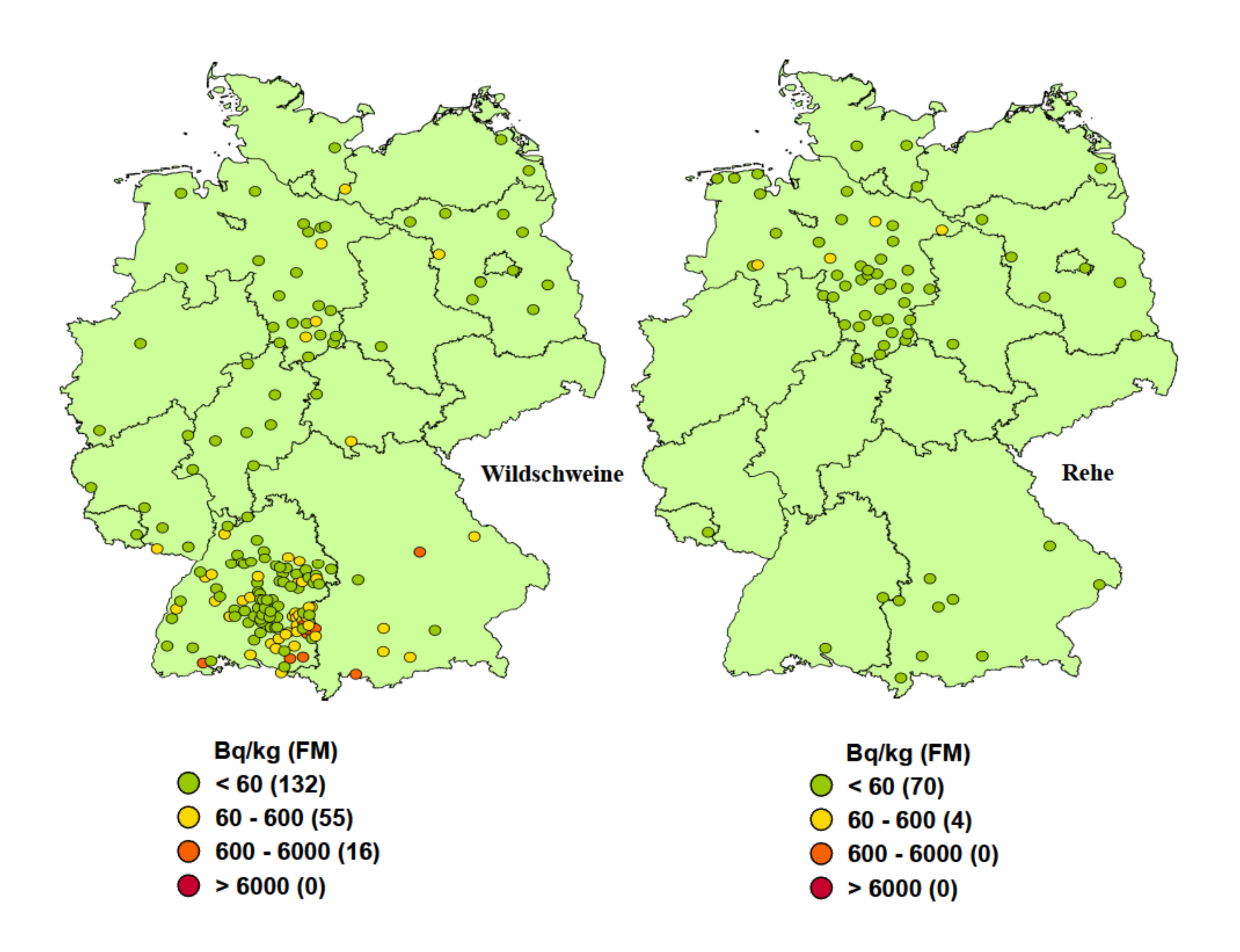
Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsium am Boden geführt haben, um bis zu eine Größenordnung höher sein.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch radioaktives Cäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Durch ein umfangreiches Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, in dem jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht werden, wird eine bundesweite Überwachung der Radioaktivitätspegel in Lebensmitteln sichergestellt.

Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter

Abbildung V.1-1

Cäsium-137-Gehalt (Mittelwerte) von Rehen und Wildschweinen im Jahr 2008 (Daten aus IMIS, Anzahl der Werte in Klammern)



1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,33 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich 1986: 0,04 mSv). Diese ist gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, Nuklide von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) sehr klein.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen wurden weiterhin höhere Werte gemessen. Die spezifischen Cäsium-137-Aktivitäten reichen bis zu 76 Bq/kg bei Fischen aus Binnenseen und 950 Bq/kg bei einigen Arten von Wildpilzen (Maronenröhrlinge, 31 Messungen).

Insbesondere Wildschweine aus den hochbelasteten Gebieten Süddeutschlands überschreiten auch weiterhin häufig den Höchstwert von 600 Bq pro kg für Cäsium-137 und dürfen daher nicht vermarktet werden.

In Abbildung V.1-1 werden Daten aus dem Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) dargestellt. Diese sind allerdings nicht repräsentativ für das jeweilige Bundesland.

In Bayern liegt der Mittelwert von 11 Messungen an Wildschweinen bei 950 Bq/kg, die Werte reichen bis 5100 Bq/kg. Für Rehe liegt der Mittelwert von 12 Messungen bei 12 Bq/kg mit einem Höchstwert von 31 Bq/kg. Hier und auch in allen anderen Bundesländern gab es 2008 keine Überschreitung des Höchstwertes bei Rehfleisch.

In Baden-Württemberg überschreiten die maximal gemessenen Werte für Wildschweinfleisch den Höchstwert von 600 Bq/kg. Der Mittelwert liegt bei 244 Bq/kg (280 Messungen), der Maximalwert bei 5700 Bq/kg. In Niedersachsen wurde ein Mittelwert von 127 Bq/kg und ein Maximalwert von 2100 Bq/kg bei Wildschweinfleisch gemessen (37 Messungen). In allen anderen Bundesländern wurde der Höchstwert nicht überschritten. Werte bis 520 Bq/kg fanden sich in Brandenburg bei einem Mittelwert von 54 Bq/kg (11 Messungen).

Cäsium-137 wird von Wild über das Futter aufgenommen. Bei Schwarzwild spielen Hirschtrüffel eine besondere Rolle, da diese sehr viel höher belastet sind als Speisepilze und von Wildschweinen besonders gerne gefressen werden. Auch große, geschlossene Waldflächen führen zu höheren Aktivitäten, da die Tiere hier weniger auf landwirtschaftliche Flächen ausweichen können. Zuchttiere, die ausschließlich mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen gefüttert werden, zeigen dagegen nur sehr geringe Kontaminationen.

Ein Verzehr von z.B. 500 g eines Lebensmittels mit einer spezifischen Cäsium-137-Aktivität von 1000 Bq/kg führt bei Erwachsenen zu einer effektiven Dosis von 0,007 mSv.

2. Kernwaffenversuche

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl oberirdischer Kernwaffenversuche durchgeführt. Seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche, zuletzt in Nordkorea.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist seit dem Kernwaffenteststopp-Abkommen von 1964 stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

VI. Nichtionisierende Strahlung

1. Elektromagnetische Felder

Die biologischen Wirkungen der elektromagnetischen Felder auf die menschliche Gesundheit werden seit etwa 50 Jahren intensiv untersucht. Die Erkenntnisse aus dieser Forschung, belegt in mehr als 20000 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, bilden die Grundlagen der bestehenden Grenzwerte. Neben den wissenschaftlich gut dokumentierten gesundheitlichen Schädigungen oberhalb der Grenzwerte existieren auch einzelne Hinweise zu möglichen biologischen Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte. Für diese konnte trotz zahlreicher internationaler Forschungsprojekte auch 2008 kein wissenschaftlicher Beleg erbracht werden. Ebenso ergaben sich keine Hinweise auf Mechanismen, die diesen möglichen biologischen Wirkungen zu Grunde liegen könnten. Die gesundheitliche Relevanz der vor allem in Zellexperimenten beschriebenen biologischen Wirkungen ist weiterhin unklar. Andererseits klagen jährlichen repräsentativen Umfragen zu Folge rund 6% der Bevölkerung über gesundheitliche Beeinträchtigungen mit teilweise dramatischen Krankheitsverläufen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz sowie nationale und internationale Expertengremien verfolgen und bewerten nach wissenschaftlichen Kriterien kontinuierlich die einschlägigen Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Bei der Bewertung neuer Erkenntnisse wird jeweils die Gesamtheit aller Forschungsergebnisse betrachtet, da diese Vorgehensweise die Grundlage für eine ganzheitliche Risikobewertung und für die Erarbeitung von Strahlenschutzmaßnahmen darstellt.

Um Lücken im wissenschaftlichen Kenntnisstand zu schließen und Unsicherheiten bei der Bewertung einzelner Befunde zu verringern, koordiniert das BfS im Auftrag des BMU nationale Forschungsvorhaben wie z.B. das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) im Rahmen des Umwelt-Forschungsplans (UFOPLAN).

1.1 Forschung

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Auf Grund der konsistenten Ergebnisse epidemiologischer Studien und einiger tierexperimenteller Arbeiten und Untersuchungen an Zelllinien wird eine Krebs begünstigende Wirkung niederfrequenter Magnetfelder im Fall der kindlichen Leukämie bei zeitlich gemittelten magnetischen Flussdichten über 0,4 µT diskutiert. Die Studien zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von > 0,4 Mikrotesla (µT) bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie. Deshalb hat die WHO niederfrequente Magnetfelder wie auch Kaffee, Styrol, Benzinmotorabgase und Schweißgase als möglicherweise krebserregend eingestuft. Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat dieses erhöhte Risiko als Verdacht für eine mögliche gesundheitliche Beeinträchtigung eingestuft. Da für niedrige Intensitäten niederfrequenter Magnetfelder nach wie vor kein Wirkungsmechanismus nachgewiesen ist, empfiehlt die SSK, die geltenden Grenzwerte beizubehalten. Auch von der IARC werden niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise kanzerogen“ eingestuft, ebenso wie z.B. Koffein oder Autoabgase. Bei Betrachtung der wissenschaftlichen Erkenntnisse wird deutlich, dass man bei der Entstehung kindlicher Leukämien von einem multifaktoriellen Geschehen ausgehen muss, bei dem wahrscheinlich sowohl genetische als auch Umweltfaktoren beteiligt sind.

In der wissenschaftlichen Literatur wird über einen Einfluss niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder auf die wachstumshemmende Wirkung von Melatonin und bestimmten Krebsmedikamenten auf Brustkrebszellen berichtet. Die wachstumshemmende Wirkung auf diese Krebszellen wurde dabei abgeschwächt. Ein Forschungsprojekt, das im Rahmen des UFO-Planes von 1999 bis 2004 durchgeführt wurde, bestätigte diese Ergebnisse, die zunächst nur einen biologischen Effekt an einigen Brustkrebszelllinien beschreiben. Ein Wirkungsmechanismus hierzu ist unbekannt.

Um die gesundheitliche Relevanz für den Menschen beurteilen zu können, wurde im Rahmen des UFOPLANs eine Folgestudie mit dem Titel „Untersuchung des Wirkungsmechanismus für die Veränderung des Wachstums von Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Onkostatika und niederfrequenten Magnetfeldern“ von 2004 bis 2007 durchgeführt. In vitro wurden Veränderungen der Genexpression und der Signaltransduktion von Steroidhormonrezeptoren untersucht. Ferner sollte geklärt werden, bei welchen Zelllinien die Effekte auftreten und ob die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente ebenfalls beeinträchtigt wird. Die 2008 veröffentlichten Ergebnisse zeigten, dass nach Exposition der Zelllinie MCF-7 mit niederfrequenten Magnetfeldern bei einer magnetischen Flussdichte von 1,2 µT die Expression vieler Gene gegenüber den nicht-exponierten Kontrollen verändert ist. Da die Bestimmung der Genexpression mit Hilfe so genannter Mikroarrays nur einen Überblick über die unterschiedlich exprimierten Gene liefert, wurden die interessantesten und die für die Krebsentstehung (Kanzerogenese) und Signaltransduktion bedeutsamsten Gene näher untersucht. Es ergaben sich erneut einige signifikante Veränderungen. Diese Ergebnisse wurden mit Hilfe der Mikroarrays erzielt. Bei der Überprüfung der Ergebnisse anhand anderer Methoden zeigten sich Veränderungen, die im Zusammenwirken das veränderte Wachstumsverhalten der Brustkrebszellen unter dem Einfluss von Tamoxifen (Krebsmedikament) und niederfrequenten Magnetfeldern zumindest teilweise erklären können. Der im Vorläuferprojekt beobachtete Effekt, dass eine Flussdichte von 1,2 µT einen stärkeren Einfluss auf die wachstumshemmende Wirkung des Tamoxifen (Krebsmedikament) hat als eine Flussdichte von 100 µT, konnte bei den Untersuchungen der Genexpression bestätigt werden. Die Wirkung anderer Brustkrebsmedikamente, die einen anderen Wirkmechanismus aufweisen als Tamoxifen, wurde durch niederfrequente Magnetfelder kaum oder gar nicht beeinflusst.

Andererseits zeigten sich aber unter dem Einfluss niederfrequenter Magnetfelder auch Veränderungen in der Expression von Genen, die bei der Metastasierung von Brustkrebszellen eine Rolle spielen. Die beschriebenen Effekte müssen weiter untersucht werden, da sie ein beträchtliches Risiko für die betroffenen Frauen darstellen würden, wenn sich die Ergebnisse auf die In-vivo-Situation übertragen ließen.

Im Jahr 2008 wurde zum Thema Wirkmechanismen niederfrequenter Magnetfelder eine 2007 begonnene Studie mit dem Titel: „Untersuchungen zu den Mechanismen für die biologischen Wirkungen niederfrequenter Magnetfelder auf das genetische Material und die Signaltransduktion“ weitergeführt. Ziel dieser Studie ist die weitere Aufklärung des Mechanismus für die biologischen Wirkungen von niederfrequenten Magnetfeldern im Bereich niedriger magnetischer Flussdichten. Neben der direkten Wirkung auf das genetische Material (Veränderungen der Genexpression und Gentoxizität) sollen auch andere Effekte untersucht werden, die für das Krebsgeschehen relevant sind, z.B. auf daran beteiligte Proteine, die Zellproliferation, die Signaltransduktion und die Apoptose. Ergebnisse dieser Studie werden 2011 erwartet.

In der Bevölkerung werden zahlreiche gesundheitliche Beschwerden auf elektrische und magnetische Felder sowie auf hochfrequente elektromagnetische Felder zurückgeführt. Im Bereich der Niederfrequenz wurde zur Objektivierung dieser Angaben mit Hilfe der „transkranialen Magnetstimulation“ die objektive motorische Schwelle und die möglicherweise vorhandene Fähigkeit betroffener Personen sowie von Kontrollpersonen gemessen, subjektiv zwischen einem tatsächlichen und einem simulierten Magnetimpuls zu unterscheiden (Doppel-Blind-Design). Es zeigte sich, dass die objektiven motorischen Schwellen der Betroffenen nicht verschieden waren von denen der Kontrollpersonen. Andererseits konnte eine klar verminderte Fähigkeit der Betroffenen festgestellt werden, zwischen einem simulierten und einem tatsächlichen Magnetimpuls zu unterscheiden. Die Forschungsarbeiten wurden im Rahmen des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms mit dem Schwerpunkt auf hochfrequente elektromagnetische Felder weitergeführt und bestätigten die Ergebnisse an einer größeren Gruppe von Personen.

Hochfrequente elektromagnetische Felder (Mobilfunk)

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Mobilfunk oder Fernsehen verwendet werden. Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als ein Grad konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder, vor allem des Mobilfunks, waren auch im Jahr 2008 Gegenstand kontroverser öffentlicher und wissenschaftlicher Diskussionen. Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion sind Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der in Deutschland geltenden Grenzwerte (www.bfs.de/de/elektro/hff/wirkungen). Dabei werden die sog. nicht-thermischen Wirkungen von Hochfrequenzfeldern kontnrovers diskutiert, während der thermische Effekt unumstritten ist.

Nicht-thermische Effekte sind biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Verschiedene nicht-thermische Effekte wie z.B. Veränderungen in der Ionenpermeabilität der Zellmembranen wurden an einzelnen Zellen und Zellkulturen beschrieben. Bislang kann diesen Effekten jedoch weder ein Wirkungsmechanismus noch eine gesundheitliche Relevanz zugeordnet werden. Sie machen aber deutlich, dass wissenschaftlich nicht geklärte Wirkungsmechanismen dieser Felder existieren können. Das heißt, dass es Risiken geben könnte, die bisher noch nicht nachgewiesen sind.

Aus diesen Hinweisen lässt sich kein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung ableiten. Sie sind jedoch Grund genug, entsprechende Vorsorge walten zu lassen. Zu diesen Vorsorgemaßnahmen gehört neben Empfehlungen zur Reduktion der individuellen Strahlenexposition auch die Weiterführung der Forschung. Das BfS begleitet fachlich entsprechende Forschungsvorhaben, um den Hinweisen auf mögliche biologische Effekte von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern nachzugehen.

Das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF)

Um die Risikobewertung bezüglich möglicher „Wirkungen elektromagnetischer Felder des Mobilfunks" auf einer soliden Datenbasis leisten zu können, wurde vom BfS das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm (DMF) initiiert, das im Rahmen des UFOPLANs des Bundesumweltministeriums (BMU) durch das BfS umgesetzt und fachlich betreut wurde. Hierfür standen für den Zeitraum von 2002 bis 2008 insgesamt 17 Mio. Euro zur Verfügung, die vom BMU und den Mobilfunknetzbetreibern anteilig übernommen wurden. Über den Mitteleinsatz entschied allein das BfS, um interessengeleitete Einflüsse auszuschließen.

Gestützt auf mehrere öffentliche Fachgespräche unter Beteiligung der SSK und Vertretern aus Wissenschaft, Politik, Umwelt- und Verbraucherverbänden sowie der Öffentlichkeit im Rahmen einer öffentlichen Konsultation über das Internet (www.emf-forschungsprogramm.de/oeffentlichkeit) wurde das Gesamtprogramm mit Priorisierung der Forschungsvorschläge festgelegt.

Das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm beinhaltete insgesamt 54 Forschungsprojekte, wovon 22 Projekte dem Bereich Biologie, 15 Projekte dem Bereich Dosimetrie, 10 Projekte dem Bereich Epidemiologie und 7 Projekte dem Bereich Risikokommunikation zugeordnet waren. Die Zielsetzung sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse und das vom BfS erstellte Fazit für jedes Vorhaben sowie Zwischen- und Abschlussberichte sind im Internet unter www.emf-forschungsprogramm.de/forschung veröffentlicht.

Abschluss des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF)

Bevor die Ergebnisse des gesamten DMF 2008 bewertet wurden, wurden in den Jahren 2006 und 2007 themenspezifische Diskussionen der jeweiligen Teilbereiche des DMF im Rahmen von 5 internationalen Fachgesprächen durchgeführt. An diesen Gesprächen nahmen die Forschungsnehmer, international anerkannte Spezialisten für die entsprechenden Teilgebiete, Vertreter internationaler Organisationen sowie nationale wie internationale Wissenschaftler mit einer breiten Expertise im Bereich „Nichtionisierende Strahlung" teil. Um die Ergebnisse auch für internationale Organisationen, die übergreifende Regelungen und Empfehlungen aussprechen, verfügbar zu machen, wurden die Berichte der einzelnen Fachgespräche teilweise in englischsprachigen, wissenschaftlichen Fachjournalen und auf den Internetseiten des DMF (www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase) veröffentlicht.

Die Ergebnisse des DMF wurden im Juni 2008 im Rahmen einer zweitägigen Konferenz in Berlin der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Konferenz wurde vom BMU und dem BfS unter Beteiligung der WHO durchgeführt. Ziel dieser Tagung war es, ein wissenschaftliches Fazit des DMF unter Berücksichtigung des internationalen Kenntnisstandes zu ziehen. Die Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms (DMF) wurden durch das BfS zusammengefasst und fachlich bewertet. Der Bericht ist beim BfS erhältlich. Die im Rahmen der Abschlusskonferenz gehaltenen Vorträge stehen im Internet unter www.emf-forschungsprogramm.de/abschlussphase/abschlusskonferenz.html zum Download zur Verfügung.

Zusammenfassung der Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramms

Trotz zunehmender Technisierung blieb die Exposition der Bevölkerung im Alltag deutlich unterhalb der Grenzwerte. Expositionen nahe an den Grenzwerten treten nur bei der Nutzung einiger körpernah betriebener Geräte, wie z.B. Handys, auf.

Die früheren Hinweise auf gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter Felder konnten nicht bestätigt werden. Dies betrifft z.B. auch die vermuteten Einflüsse auf den Schlaf, die Hirnleistung, die Blut-Hirn-Schranke, Immunparameter, die Fortpflanzung, die Entwicklung oder die Verarbeitung von visuellen oder akustischen Reizen oder die Verursachung von Krebserkrankungen, Tinnitus oder Kopfschmerzen.

Es wurden auch keine neuen Hinweise für mögliche gesundheitsrelevante Wirkungen gefunden, insbesondere auch keine athermischen Wirkmechanismen.

Es hat sich gezeigt, dass der Grad der Besorgnis bezüglich des Mobilfunks in der Bevölkerung in den letzten Jahren stabil, aber im Vergleich mit anderen Gesundheitsrisiken gering war. Nur für einzelne Gruppen war das Thema von hoher Bedeutung.

Zum Thema „Elektrosensibilität" und „unspezifische gesundheitliche Beschwerden" wurden im Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm mehrere Studien durchgeführt. Bei den jährlichen Umfragen zur Wahrnehmung des Themas „Mobilfunk" in der Bevölkerung gaben etwa 10% der Bevölkerung an, durch den Mobilfunk gesundheitlich beeinträchtigt zu sein. Diesem wurde in einer Querschnittsstudie an einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe nachgegangen. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der mit Hilfe von Personendosimetern bestimmten Exposition der Probanden und fünf untersuchten Beschwerden. Dagegen konnte eindeutig gezeigt werden, dass allein die Besorgnis über mögliche gesundheitliche Risiken des Mobilfunks zu Schlafstörungen und allgemeinen Beschwerden führte.

Von diesen sich beeinträchtigt Fühlenden sind die Personen klar zu unterscheiden, die sich selbst als elektrosensibel und damit als besonders empfindlich gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen und hoch-

frequenten elektromagnetischen Feldern bezeichnen und eine Vielzahl gesundheitlicher Beschwerden darauf zurückführen. Deren Anteil beträgt etwa 1,5% der Bevölkerung.

Mittels der im Deutschen Mobilfunk-Forschungsprogramm durchgeführten Studien ließ sich kein Zusammenhang zwischen der Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und den von den Betroffenen geschilderten gesundheitlichen Beeinträchtigungen nachweisen. Dies entspricht den Ergebnissen anderer internationaler Forschungsvorhaben in diesem Bereich.

Bei Betrachtung aller nationalen und internationalen Studien zum Thema „Elektrosensibilität“ ergibt sich, dass kein kausaler Zusammenhang zwischen den Beschwerden der elektrosensiblen Personen und niederfrequenten wie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern nachgewiesen werden kann. Diese Einschätzung wird auch von der WHO geteilt[10]. Die den gesundheitlichen Leiden der Betroffenen zu Grunde liegenden Ursachen liegen demnach nicht in der Exposition durch nicht-ionisierende Strahlung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Deutsche Mobilfunk-Forschungsprogramm dazu beigetragen hat, die Datenlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse bezüglich hochfrequenter Felder und deren Auswirkungen auf den Menschen entscheidend zu verbessern.

Auf zwei Fragenkomplexe konnten aber trotz aller Bemühungen bis heute keine zufrieden stellenden Antworten gegeben werden. Dies betrifft zum einen die wesentliche Frage möglicher Langzeitrisiken für Handynutzungszeiten von mehr als 10 Jahren. Zum anderen existiert weiterhin Forschungsbedarf im Hinblick auf die Frage, ob Kinder stärker durch hochfrequente elektromagnetische Felder exponiert sind oder empfindlicher reagieren als Erwachsene. Darum ist auch weiterhin ein vorsichtiger Umgang mit drahtlosen Kommunikationstechniken angebracht. Die Beibehaltung der vom BfS und auch von der Strahlenschutzkommission[11] formulierten einschlägigen Vorsorgemaßnahmen vor allem für Kinder und Jugendliche wird weiterhin empfohlen.

Die Ergebnisse der Forschungsprojekte aus den Bereichen Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und Risikokommunikation fließen in die internationale Risikobewertung zur Wirkung von hochfrequenten Feldern auf den Menschen ein.

BMBF [12]

Die Forschungsarbeiten des im Jahr 2005 gestarteten Vorhabens „miniwatt II“ wurden 2008 erfolgreich abgeschlossen. In miniwatt II wurden die Immissionen und Expositionen aktueller und zukünftiger Mobilfunk- und Rundfunkdienste untersucht, insbesondere Erfolg versprechende Maßnahmen zur Minimierung dieser Immissionen. Auf Grund der Beteiligung aller Mobilfunknetzbetreiber stehen die Ergebnisse diesen sofort für geeignete Umsetzungsmaßnahmen zur Verfügung. Ferner stehen die Ergebnisse zu den spezifischen Absorptionsraten nach Abschluss des bis Mitte 2008 verlängerten Vorhabens auch den Endgeräteherstellern zur Verfügung.

Alle geplanten Arbeitspakete wurde bis Ende Juni 2008 erfolgreich abgeschlossen mit folgenden wichtigen Ergebnissen:

- Die Gesamtimmission der bedeutenden gegenwärtig aktiven Funkdienste bleibt auch in der Summe weit unter den Grenzwerten.
- Es konnte gezeigt werden, dass feinmaschigere Netzstrukturen und intelligente Antennensysteme gegenüber herkömmlichen Systemen deutliche Vorteile bezüglich der Exposition aufweisen. Ferner wurde festgestellt, dass - ein großes Kundeninteresse an derselben Information vorausgesetzt - eine rundfunkähnliche Aussendung über ein DVB-T Netz zu einer niedrigeren Immissionsbelastung führt als eine individuelle Verteilung der Information über UMTS.
- Es wurde nachgewiesen, dass die spezifische Absorptionsrate bei Mobiltelefonen durch ein immissionsoptimiertes Design (Art der Anbringung der Antenne etc.) deutlich gesenkt werden kann.
- Die Pulshaltigkeit von Funksignalen wurde analysiert und Methoden zu deren Abschwächung identifiziert.
- Die Feldstärke eines sendenden Handys bleibt bei Herzschrittmacher-Implantaten unter den vom VDE vorgeschlagenen Grenzwerten.

Gleichzeitig erfolgt in weiteren, durch das BMU geförderten Arbeitspaketen eine Abschätzung der möglichen biologisch-medizinischen Wirkungen durch die zu erwartenden Expositionen.

BMWi [12]

Als Mitglied der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (FGF) hat das BMWi auch im Jahr 2008 Forschung im Bereich der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit gefördert.

1.2 Umweltzeichen „Blauer Engel“

Die Strahlenschutzkommission hat in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ (www.ssk.de/de/werke/2001/volltext/ssk0103.pdf) darauf hingewiesen, „bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen“. Sie weist darauf hin, dass „entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem ortsfeste Anlagen betrifft, die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder aus Geräten, z.B. bei Haushaltsgeräten oder bei Endgeräten der mobilen Telekommunikation unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes zu betrachten

[10] Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit – Elektromagnetische Hypersensibilität (Elektrosensibilität). Fact sheet N° 296 vom Dezember 2005, www.who.int/entity/peh-emf/publications/facts/ehs_fs_296_german.pdf

[11] Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission, Band 61, Berlin, 2007

[12] Die Vorhaben des BMBF und des BMWi können dem 2. Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf die Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen (Deutscher Bundestag, Drucksache 16/1791) entnommen werden

sind, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen kann“. Um dementsprechend besonders strahlungsarme Handys, die nach dem GSM-, GPRS- oder UMTS-Standard arbeiten, für den Verbraucher sichtbar zu kennzeichnen, wurden die Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ durch die Jury „Umweltzeichen“ in Zusammenarbeit mit BMU und BfS im Juni 2002 festgelegt. Demnach kann der „Blaue Engel“ an Handys vergeben werden, deren nach normierten Methoden ermittelter SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt und die umwelt- und recyclingfreundlich produziert wurden.

Das BfS stellt in regelmäßigen Abständen die unter standardisierten Bedingungen ermittelten SAR-Werte für zahlreiche handelsübliche Handys zusammen und veröffentlicht sie unter www.bfs.de/de/elektro/oekolabel.html. Ende 2008 umfasste diese Erhebung insgesamt 1150 Geräte von 36 verschiedenen Herstellern, wovon 80 Handys UMTS-Geräte waren. Für 1011 Handys konnte ein standardisiert ermittelter SAR-Wert gefunden werden. Nach dieser Erhebung bewegen sich die SAR-Werte der auf dem Markt befindlichen Handys zwischen 0,10 W/kg und 1,94 W/kg. Aus Sicht des Strahlenschutzes könnten mit der Begrenzung auf einen SAR-Wert bis 0,6 W/kg ca. 30% der 2008 auf dem deutschen Markt befindlichen Handytypen mit dem Umweltzeichen "Blauer Engel" ausgezeichnet werden. Informationen zu den Vergabegrundlagen für den „Blauen Engel“ für Handys durch das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung RAL e. V. sind auf der Internetseite www.blauer-engel.de/_downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-106.pdf zu finden.

Die Handyhersteller lehnten bisher das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Mobilfunkendgeräte nahezu geschlossen ab. Ihre ablehnende Haltung begründen sie damit, dass es sich um einen globalisierten Markt handelt und dass die Geräte europäischen Vorgaben entsprechen. Außerdem suggeriere der „Blaue Engel“, dass entsprechend gekennzeichnete Handys gesundheitlich unbedenklicher seien als solche ohne den „Blauen Engel“. Durch die Bereitschaft der Hersteller, einen aktiven Beitrag zum vorsorgenden Gesundheits- und Verbraucherschutz zu leisten - unter anderem im Rahmen der Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber und entsprechender Werbemaßnahmen bei „strahungsarmen“ Endgeräten - sei eine besondere Kennzeichnung unnötig. Ein Hersteller hat dennoch das Umweltzeichen erhalten. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich auch weiter an einer verstärkten Verbraucherinformation zu beteiligen.

Ende 2006 wurde für weitere Endgeräte, nämlich Säuglings-Überwachungsgeräte, die Vergabegrundlage für den Blauen Engel veröffentlicht (siehe www.blauer-engel.de/_downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-125.zip). Die Vergabekriterien begrenzen bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die abgestrahlte Leistung und bei den niederfrequenten Magnetfeldern die magnetische Flussdichte. Geräte, die als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des Blauen Engels ausgeschlossen. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Bis Ende des Jahres 2008 haben zwei Hersteller den Blauen Engel erhalten.

1.3 Exposition der Bevölkerung durch Mobilfunksendeanlagen

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997) sind für ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalent isotroper Strahlungsleistung) oder mehr, die gewerblich betrieben werden und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 GHz (300 000 MHz) erzeugen, die maximal zulässigen Feldstärkewerte festgelegt worden.

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Bundesnetzagentur (BNetzA) auf der Grundlage der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) überprüft. In verschiedenen Messkampagnen der BNetzA wurde auch im Jahr 2008 gezeigt, dass die Grenzwerte an den Orten, an denen sich Menschen aufhalten, um Größenordnungen unterschritten werden.

Die Bundesnetzagentur stellt auf Ihren Internetseiten seit 2003 eine Standortdatenbank zur Verfügung (emf.bundesnetzagentur.de). Der Öffentlichkeit ist damit eine Online-Recherche von Messorten der EMF-Messreihen und von in Betrieb befindlichen Standorten von Funkanlagen möglich, für die die BNetzA eine Standortbescheinigung erteilte. Darüber hinaus bildet sie eine Plattform für die Veröffentlichung von EMF-Messreihen der Landesumweltministerien. Die Messorte werden von der BNetzA und den Landesumweltministerien festgelegt. Im Rahmen der EMF-Messreihe der BNetzA kann jedes Landesumweltministerium eine bestimmte Anzahl von Messorten frei wählen. Die BNetzA übernimmt die Standortauswahl der Länder unverändert und führt die Messung durch. Sie trifft die Auswahl ihrer Messorte nach den folgenden Kriterien:

- Nähe zu ortsfesten Funkanlagen (z.B. Rundfunksender, Betriebsfunkanlagen, Mobilfunkanlagen, etc.),
- öffentliche Wege und Plätze,
- Bereiche von besonderem Interesse (z.B. Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser usw.),
- Messorte an denen bei früheren BNetzA Messungen eine vergleichsweise hohe Ausschöpfung der Grenzwerte festgestellt wurde (dies trifft insbesondere für Messorte im direkten Umfeld von Rundfunksendern zu).

Der Qualitätsmaßstab für die in der EMF-Datenbank enthaltenen Messungen ist die Messvorschrift der Regulierungsbehörde (/www.bundesnetzagentur.de/media/archive/571.pdf). Diese Messvorschrift wurde mit den Umweltministerien der Länder abgestimmt. Damit steht für den gesamten von Funkanlagen genutzten Frequenzbereich (9 Kilohertz bis 300 Gigahertz) ein einheitlicher und verbindlicher Maßstab für die messtechnische Bewertung

der Gesamtimmissionen zur Verfügung. In die EMF-Datenbank der BNetzA können nur Messungen von Dritten aufgenommen werden, wenn sie dem Qualitätsmaßstab entsprechen und von den Umweltministerien der Länder beauftragt und an die BNetzA weitergeleitet wurden. Mit der EMF-Datenbank ergänzt die BNetzA ihr bisheriges EMF-Monitoring. Sie setzt damit eine Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom September 2001 um, wonach „relevante Immissionen durch elektromagnetische Felder in regelmäßigen Zeitabständen zu prüfen seien".

1.4 Strahlungsarme DECT-Schnurlostelefone

DECT-Telefone halten auf Grund ihrer niedrigen mittleren Sendeleistung von weniger als 20 mW den geltenden SAR-Basisgrenzwert von 2 W/kg ein. Es muss daher nicht, wie bei Mobiltelefonen üblich, der SAR-Wert nach DIN EN 50360 zum Nachweis der Übereinstimmung mit den Grenzwerten ermittelt und von Herstellerseite angegeben werden.

Die Basisstationen der nach dem DECT-Standard arbeitenden Schnurlos-Telefone senden allerdings im Stand-by-Betrieb (kontinuierliches Kontrollsignal zwischen Basisstation und Mobilteil), also auch dann wenn nicht telefoniert wird. Darüber hinaus wird beim Telefonieren unabhängig vom Abstand zwischen dem Telefon und der Basisstation permanent mit der maximalen Leistung gesendet.

Unter dem Aspekt einer vorsorglichen Reduzierung der Exposition ist zu fordern, dass die Basisstationen im Stand-by-Betrieb automatisch abgeschaltet und die Telefone mit einer bedarfsgerechten Regelung der Sendeleistung ausgestattet werden.

Strahlungsarme DECT-Telefongeräte sollten folgende Kriterien erfüllen:

- Abschaltung oder mindestens 100000-fache Absenkung des Kontrollsignals im Standby-Betrieb unabhängig von der Anzahl der angemeldeten Mobilteile, wobei sich das Mobilteil nicht notwendigerweise in der Basis befinden muss,
- Bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung des Mobilteils beim Telefonieren in mehr als 2 Stufen ähnlich der beim Handy,
- Bedarfsgerechte Regelung der Sendeleistung der Basisstation während des Telefonierens,
- Möglichkeit des Anschlusses eines Headsets an das Mobilteil,
- Möglichkeit der Einstellung / Begrenzung der Reichweite.

Inzwischen sind einige Hersteller diesen Forderungen zumindest teilweise nachgekommen. Ende des Jahres 2008 waren etliche Geräte auf dem deutschen Markt, die eine Absenkung bzw. völlige Abschaltung des Kontrollsignals zwischen Basisstation und Mobilteil ermöglichen. Hierzu muss sich aber das Mobilteil in der Basisstation befinden und es darf nur ein Mobilteil an der Basis angemeldet sein. Bei zwei Geräten wird das Kontrollsignal auch dann abgeschaltet, wenn bis zu sieben Mobilteile angemeldet sind und sich kein Mobilteil in der Basisstation befindet. Mehrere Geräte senken die Sendeleistung des Mobilteils entfernungsabhängig ab und bei einigen Geräten ist auch eine manuelle Absenkung der Sendeleistung der Basisstation möglich. Diese Geräte können als „bedingt strahlungsarm" bezeichnet werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat eine Liste der 2008 auf dem deutschen Markt erhältlichen bzw. angekündigten „bedingt strahlungsarmen" DECT-Schnurlostelefone sowie Art und Ausmaß ihrer Strahlungsreduzierung zusammengestellt. Diese Liste ist im Internet unter: www.bfs.de/de/elektro/Strahlungsarme_Dect_Schnurlostelefone.html veröffentlicht.

2. Optische Strahlung

2.1 Forschung zur UV- und IR-Strahlung

Die Einwirkung von künstlicher oder im Sonnenlicht enthaltener UV-Strahlung führt zu dauerhaften und irreversiblen Veränderungen an Auge und Haut. Geringe Sonnenexpositionen können sich dagegen gesundheitsfördernd auswirken. Unter anderem wird durch UV-B in der Haut die Produktion von Pro-Vitamin D_3 induziert, welches den Kalziumspiegel im Blut reguliert und eine essentielle Rolle im Aufbau und Erhalt des Knochengewebes spielt. Neuere epidemiologische Studien lieferten Hinweise, dass einige Krebsarten (Darmkrebs, aber auch Brust- und Prostatakrebs) mit Vitamin-D-Mangel korreliert sein könnten. Auf Grund dieser Aussagen existieren international widersprüchliche Empfehlungen in Bezug auf eine gesundheitsfördende UV-Bestrahlung.

Mittels epidemiologischer Studien und durch Untersuchungen an Tiermodellen und Zellen konnte gezeigt werden, dass auch chronische Bestrahlung mit Infrarot (IR; Wärmestrahlung) sowohl allein als auch in Kombination mit UV-Strahlung Hautschäden hervorrufen kann. Einerseits kommt es dabei zu einer Beschleunigung der Hautalterung, andererseits können auch Hautschäden auftreten (z.B. thermale Keratosen), die als Vorstufen von Hautkrebs anzusehen sind. Bekannt ist bisher, dass die Wirkung von IR-Strahlung und auch das Zusammenwirken von IR- mit UV-Strahlung auf Veränderungen der Signaltransduktion und der Genexpression beruht. Eine Beteiligung der Bildung reaktiver Sauerstoffspezies wird ebenfalls diskutiert. Außerdem beeinflusst IR-Strahlung die DNA-Reparatur und die durch UV-Strahlung ausgelöste Apoptose (programmierter Zelltod). Der genaue Wirkungsmechanismus für diese Effekte ist aber bisher noch wenig erforscht.

Neuere Untersuchungen deuten außerdem darauf hin, dass der Gebrauch von Sonnenschutzmitteln zwar vor Sonnenbrand, aber kaum vor Hautkrebs schützt. Eine Ursache dafür könnte in dem Zusammenwirken von UV-A-, UV-B- und IR-Strahlung bei der Entstehung von Hautkrebs liegen. Deswegen wurden im Jahr 2008 durch das BfS Forschungsvorhaben im Bereich UV und auch in Be-

zug auf das mögliche Zusammenwirken von UV und IR initiiert bzw. durchgeführt. (Tabelle VI.2-1).

Tabelle VI.2-1

Forschungsvorhaben zum Thema UV und IR

UV
Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs
UV-abhängige Vitamin D Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin D_3 Bedarfs im menschlichen Körper
Bestimmung der individuellen UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index
IR
Untersuchung des Zusammenwirkens von UV- und Infrarot-Strahlung bei der Hautalterung und Krebsentstehung

Ziel des Vorhabens „Untersuchungen zur Bedeutung unterschiedlicher Parameter der UV-Exposition und der individuellen Risikofaktoren bei der Entstehung von Hautkrebs" ist die weitere Aufklärung der Entstehungsmechanismen von Hautkrebs und dabei vor allem die Bedeutung der unterschiedlichen Expositionsparameter und der Zusammenhang mit den individuellen Risikofaktoren. Unter anderem soll geklärt werden, ob akute Expositionen mit höheren UV-Dosen zu anderen Ergebnissen führen als chronische Expositionen mit kleinen UV-Dosen und welche Rolle UVA-Strahlung spielt. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen dabei die sog. schwer geschädigten epidermalen Zellen (CRBC). Diese Zellen reparieren die UV-bedingten DNA-Schäden nicht vollständig und bleiben auch über einen Regenerationszyklus der Hautzellen hinaus in der Epidermis erhalten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen diese Zellen möglichst eindeutig charakterisiert werden und vor allem soll untersucht werden, ob und wie sie sich zu Hautkrebszellen weiterentwickeln und welche Einflussfaktoren dabei eine Rolle spielen. Abschließende Ergebnisse werden Ende 2009 erwartet.

Ziel des Vorhabens „UV-abhängige Vitamin-D-Synthese – Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D_3-Bedarfs im menschlichen Körper" ist es, das quantitative Verhältnis von UV-Exposition und Vitamin-D_3-Level unter verschiedenen Randbedingungen und in verschiedenen Bevölkerungsgruppen (Kinder, Schwangere, ältere Menschen, Patienten, etc.) näher zu charakterisieren. Hierauf basierend soll eine Empfehlung zur optimalen UV-Exposition differenziert nach Bevölkerungsgruppen erarbeitet werden. Das Projekt startete Ende 2007. Abschließende Ergebnisse werden 2010 erwartet.

Ziel des Vorhabens „Bestimmung der individuellen UV-Exposition in Abhängigkeit von Lebensstil und aktuellem UV-Index" ist, mit Hilfe von UV-Personendosimetern die individuelle UV-Exposition unter verschiedenen Randbedingungen und in verschiedenen Bevölkerungsgruppen (Kinder, Schwangere, ältere Menschen, Patienten, etc.) zu erfassen und dies mit dem jeweiligen Lebensstil und dem aktuellen UV-Index als weitere Parameter zu korrelieren. Hiermit soll eine Aussage darüber ermöglicht werden, wie viel UV-Strahlung tatsächlich für die Synthese von ausreichenden Mengen an aktivem Vitamin D_3 zur Verfügung steht. Abschließende Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden Anfang 2010 erwartet.

Ziel des Vorhabens "Untersuchung des Zusammenwirkens von UV- und Infrarot-Strahlung bei der Hautalterung und Krebsentstehung", das Ende 2008 abgeschlossen wurde, war zu beschreiben, auf welchem Weg IR-Strahlung allein und in Kombination mit UV-A- und UV-B-Strahlung zur beschleunigten Hautalterung und Krebsentstehung beiträgt und soweit möglich den Wirkungsmechanismus aufzuklären.

Die Ergebnisse zeigen eine Reduktion des apoptotischen Zelltodes, wenn Keratinozyten in vitro drei Stunden vor der UV-Bestrahlung mit IR bestrahlt wurden. Durch eine Vorbestrahlung mit IR ließ sich die Zahl der Sonnenbrandzellen deutlich reduzieren. Außerdem bewirkt eine Vorbestrahlung mit IR sowohl in vitro als auch in vivo eine Reduktion der UV-bedingten DNA-Schäden. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur UV-bedingten Karzinogenese nach IR-Vorbehandlung in vivo ergaben kein erhöhtes Risiko für die Hautkrebsentstehung. Allerdings zeigten die Tumoren in den IR-vorbehandelten Tieren ein etwas aggressiveres Wachstum, was möglicherweise auf eine Beeinträchtigung der immunologischen Tumorbekämpfung zurückzuführen ist. Eindeutige Empfehlungen zum Schutz gegen Infrarotstrahlung, insbesondere auch beim Sonnenschutz, können daher erst nach weiterführenden Untersuchungen gegeben werden.

2.2 Solares UV-Monitoring in Deutschland

Seit 1993 wird die bodennahe solare UV-Strahlung an zehn repräsentativen Standorten in Deutschland kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen. An den Messungen sind das BfS, das Umweltbundesamt und weitere staatliche und universitäre Institutionen beteiligt. Die Messdaten werden in der BfS-Messnetzzentrale in Neuherberg/Oberschleißheim gesundheitlich bewertet, dokumentiert und regelmäßig unter
www.bfs.de/de/www/uv/uv_messnetz/uvi/prognose.html
bzw.
www.bfs.de/de/www/uv/uv_messnetz/uvi/messnetz.html
veröffentlicht.

Eine wichtige Kenngröße für die Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index. Der globale solare UV-Index (UVI) ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. Sowohl die täglichen Messwerte aller Stationen als auch die 3-Tages-Prognose in den Sommermonaten werden als UVI-Werte veröffentlicht (www.bfs.de/de/uv). In Abbildung VI.2-1 wurden für das Jahr 2008 die maximalen und mittleren UVI-Werte eines jeweiligen Monats für den Norden (Messstationen sind in Westerland und Zingst), die Mitte (Messstationen sind in Dortmund, Lindenberg, Kulmbach) und den Süden

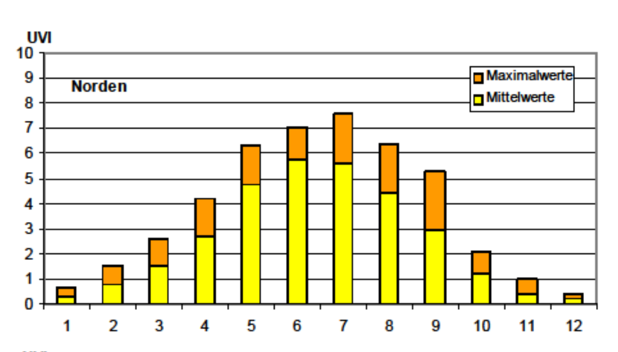
(Messstation ist in München) der Bundesrepublik dargestellt.

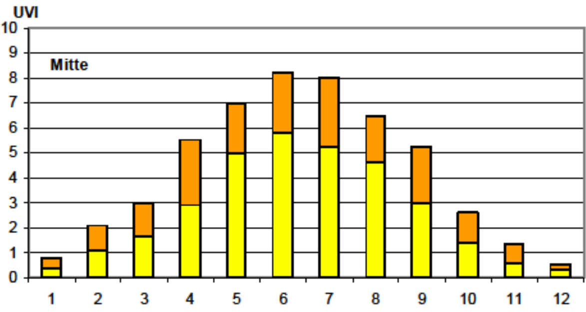
Die monatliche Schwankungsbreite der UV-Werte ist vor allem witterungsbedingt sehr groß. Die höchsten UVI-Werte mit Maximalwerten über 8 traten in der Mitte im Juni und Juli sowie im Süden im Mai, Juni und Juli auf. Ab UVI-Werten von 6 ist die UV-Belastung hoch, Schutzmaßnahmen sind erforderlich, bei UVI-Werten ab 8 ist die UV-Belastung sehr hoch und besondere Schutzmaßnahmen sind erforderlich.

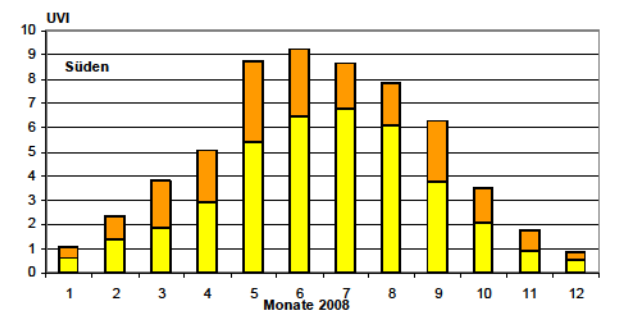
Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt einen leichten Anstieg der UV-Strahlung erkennen. Ein durch Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund

Abbildung VI.2-1

Maximale und mittlere UVI-Werte der Monate im Jahr 2008 im Norden, in der Mitte und im Süden Deutschlands







der vielfältigen Einflussgrößen derzeit nicht nachgewiesen werden.

2.3 Zertifizierung von Solarien

Die UV-Belastung der Bevölkerung steigt auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und der Nutzung so genannter Wellness-Bereiche mit Solarien kontinuierlich an. Die gleichzeitige Besorgnis erregende Beobachtung einer Zunahme von Hautkrebs wird mit diesem Freizeitverhalten in Verbindung gebracht. Deswegen haben sich BMU und BfS auch 2008 für die Umsetzung von Maßnahmen eingesetzt, um die UV-Belastung für weite Bevölkerungsteile zu reduzieren.

Grundlage ist das im Mai 2003 etablierte Verfahren für die Zertifizierung der Solarien. Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind:

- definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung,
- Prüfungsvorschriften,
- einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und
- fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter.

Darüber hinaus verpflichtet sich der Studiobetreiber, Personen unter 18 Jahren die Nutzung seiner Geräte zu untersagen.

Neue europäische Vorgaben, u. a. hinsichtlich der Bestrahlungsstärke, erfordern die Anpassung der bisherigen Kriterien.

Das Zertifizierungsverfahren „zertifiziertes Solarium" wurde demzufolge im Jahr 2007 von dem Verfahren „geprüftes Sonnenstudio" abgelöst. Bis Ende 2008 wurden knapp 800 von insgesamt ca. 5 500 Sonnenstudios (nach Angaben von Vertretern der Solarienbranche) deutschlandweit zertifiziert.

Das BfS führte in den Jahren 2006, 2007 und 2008 Überprüfungen der als zertifizert gemeldeten Sonnenstudios durch. Die bereits 2006 und 2007 vorgefundenen Mängel in der Umsetzung der Kriterien des BfS zeigten sich erneut bei der stichprobenartigen Überprüfung zertifizierter Solarien Ende 2008. Der Bericht hierzu ist veröffentlicht unter

www.bfs.de/de/uv/solarien/Solarienueberpruefung2008.pdf.

Dieses ernüchternde Ergebnis macht deutlich, dass das freiwillige Zertifizierungsverfahren keinen effektiven Verbraucherschutz in Sonnenstudios gewährleisten kann.

Um den Verbraucher vor den nachgewiesenen Gesundheitsgefahren durch UV-Strahlung zu schützen, hat das BMU mit Unterstützung des BfS rechtlich verbindliche Regelungen zu Solarien erarbeitet (gesetzliches Solariennutzungsverbot für Minderjährige, Qualitätsanforderungen an den Betrieb von Solarien wie z.B Begrenzung der Bestrahlungsstärke, Einsatz von qualifiziertem Personal, Informations- und Dokumentationspflichten).

Anhang A:

Strahlendosis und Strahlenwirkung

Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind das Becquerel und das Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge" an Radioaktivität in einem bestimmten Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die Vermeidung bzw. größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes[13].

Ein Becquerel pro Maßeinheit eines Umweltmediums – also z.B. pro Kubikmeter Luft, pro Liter Wasser oder pro Kilogramm – bedeutet, dass sich in der betrachteten Substanzmenge pro Sekunde ein Atom unter Abgabe von Strahlung in ein anderes umwandelt. Für die Strahlenbelastung (Dosis) ist wichtig, wo sich das Atom zum Zeitpunkt seines Zerfalls befindet (im Körper oder außerhalb) und welche Art von Strahlung (Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung) es abgibt. Alphastrahlung hat eine hohe Schadenswirkung auf betroffene Körperzellen, aber nur eine geringe Reichweite von unter einem Millimeter. Alphastrahler müssen sich also im Körper befinden, um zu einer Strahlenbelastung zu führen. Das wichtigste Beispiel hierfür sind die Zerfallsprodukte des radioaktiven Edelgases Radon, die durch Ablagerungen in der menschlichen Lunge einen großen Teil der Strahlenbelastung des Menschen bewirken. Gammastrahlen haben demgegenüber eine Reichweite von mehreren Metern. Auf diese Weise können radioaktive Atome in der Umgebung zur Strahlenbelastung beitragen. Betastrahler liegen in ihrer Reichweite zwischen den beiden anderen Strahlenarten. Neben diesen Strahlenarten, die bei Atomumwandlungen entstehen, führen auch Röntgenstrahlen, die künstlich erzeugt werden, zu einer Strahlenbelastung.

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Radioaktivitätsmenge einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man den Becquerel-Wert mit einem sog. Dosisfaktor multipliziert.

Im Dosisfaktor werden dabei verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt (siehe nächster Abschnitt „Die Strahlendosis und ihre Einheiten"). Endergebnis dieser Berechnungen ist die Strahlenbelastung als effektive Dosis in Millisievert. Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

[13] ALARA-Prinzip: „As low as reasonably achievable"

Im vorliegenden Bericht ist zusätzlich eine Mittelung über die Gesamtbevölkerung durchgeführt worden. Da die einzelnen Komponenten – besonders die Exposition durch medizinische Maßnahmen und durch Radon – individuell sehr stark variieren, kann die individuelle Strahlenexposition auch deutlich höher oder deutlich geringer sein als der ausgewiesene Mittelwert über die Gesamtbevölkerung.

Die Strahlendosis und ihre Einheiten

Man charakterisiert die physikalischen und biologischen Auswirkungen am „Zielort Mensch", an dem Strahlung absorbiert wird, durch verschiedene Dosisgrößen, u.a. die effektive Dosis, die in Millisievert (mSv) angegeben wird. Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition, d.h. die Strahlenbelastung des Menschen. Sie beruht auf der Energiedosis als Maß für die von einem Stoff aufgenommene Energie. Da diese Schutzgrößen nicht direkt gemessen werden können, definiert die StrlSchV in ihrer Fassung vom 1. August 2001 außerdem als Messgrößen die Personendosis und die Ortsdosis.

Als Maß für die physikalische Strahlenwirkung kann die von einem Stoff aufgenommene Energie verwendet werden. Dafür ist die Energiedosis definiert worden. Die **Energiedosis** einer ionisierenden Strahlung gibt die pro Masse eines durchstrahlten Stoffes absorbierte Energie an.

$$\mathit{Energiedosis} = \frac{\mathit{absorbierte\ Strahlungsenergie}}{\mathit{Masse}}$$

Der Quotient Joule pro Kilogramm wird als Einheit für die Energiedosis verwendet. Der besondere Einheitenname für die Energiedosis ist das Gray (Gy).

$$1\,Gy = 1\,\frac{J}{kg}$$

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Strahlensituation einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man die Energiedosis mit einem Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt, dass die verschiedenen Strahlenarten (z.B. Alphastrahlung verglichen mit Betastrahlung) unterschiedliche biologische Strahlenwirkungen haben. Bestrahlt man zwei gleiche biologische Objekte, z.B. tierische oder menschliche Gewebezellen in einem Fall mit Betastrahlung und im anderen Fall mit Alphastrahlung gleicher Energiedosis, so stellt man fest, dass die biologischen Strahlenwirkungen durch Alphastrahlen etwa 20mal größer sind. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Alphastrahlen eine größere Anzahl von Ionen pro Weglänge erzeugen, also dichter ionisieren. Eine dichtere Ionisierung in einem kleinen Bereich ist schädlicher als eine lockere Ionisierung in einem größeren Bereich.

Durch diese Umrechnung erhält man zunächst die **Organdosis**. In Formeln lässt sich dies folgendermaßen ausdrücken:

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ **Energiedosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

w_R Strahlungs-Wichtungsfaktor

$H_{T,R}$ **Organdosis** im Organ T durch die Strahlungsart R

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren sind in der novellierten StrlSchV wie folgt festgelegt:

Tabelle A 2-1
Strahlungs-Wichtungsfaktoren w_R nach StrlSchV, Anl. VI, Teil C

Strahlenart und Energiebereich	w_R
Photonen, alle Energien	1
Elektronen, Myonen, alle Energien	1
Neutronen	
< 10 keV	5
10 KeV bis 100 keV	10
> 100 keV bis 2 MeV	20
> 2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen außer Rückstoßprotonen > 2 MeV	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Die Einheit der Organdosis ist das **Sievert** (Sv). Da der Strahlungs-Wichtungsfaktor dimensionslos ist, ist die Dimension der Organdosis ebenfalls Joule pro Kilogramm. Da Strahlendosen im Sievertbereich selten auftreten, wird üblicherweise die Untereinheit **Millisievert** verwendet. Ein Sievert entspricht 1000 Millisievert.

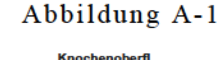
Die verschiedenen Organe und Gewebe sind in Hinblick auf mögliche Strahlenschäden unterschiedlich empfindlich. Um die Strahlenbelastungen verschiedener Organe vergleichen zu können, wurde deshalb die **effektive Dosis** eingeführt, die als Maß für die Gesamtbelastung eines Menschen durch ionisierende Strahlung dient. Die effektive Dosis ergibt sich aus der Organdosis durch Multiplikation mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor.

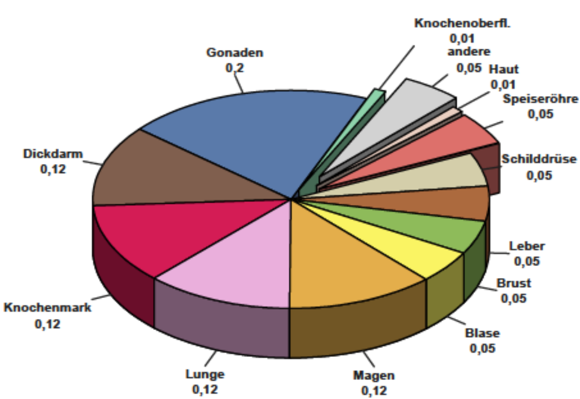
$$E = w_T \times H_T$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind in der folgenden Abbildung A-1 dargestellt, sie ergeben zusammengenommen den Wert 1.

Da dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Die Wirkung einer Strahlenart auf ein Organ kann also durch Multiplikation der Energiedosis mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor und dem Gewebe-Wichtungsfaktor in Zahlen gefasst werden. Soll die effektive Dosis für eine Strahlenexposition durch mehrere Strahlungsarten





Gewebe-Wichtungsfaktoren nach StrlSchV, Anlage VI, Teil C

berechnet werden, die mehrere Organe betreffen, so müssen die genannten Formeln zusammengefasst und eine Summierung über alle Komponenten durchgeführt werden:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

Die Messung der Dosis

Die bisher genannten Dosisgrößen Energiedosis, Organdosis und effektive Dosis werden als **Körperdosen** bezeichnet. Sie dienen dazu, die Ziele zu definieren, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z.B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind **Schutzgrößen**. Nur in den allerseltensten Fällen kann eine Dosis direkt im Körper eines Menschen gemessen werden. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den **Messgrößen** überwacht. Diese **Äquivalentdosen** sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzen, werden auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich liegen.

Alle Messgrößen beziehen sich auf den menschlichen Körper oder als Ersatz auf ein Phantom aus gewebeäquivalentem Material (Dichte 1 g cm^{-3}, Massenzusammensetzung 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff), der sogenannten **ICRU-Kugel** mit 30 cm Durchmesser, die von der ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry) im Jahr 1993 eingeführt worden ist.

Die StrlSchV definiert als Messgrößen die **Personendosis** als Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person und unterscheidet die **Tiefen-Personendosis** $H_p(10)$ in einer Messtiefe von 10 mm und die **Oberflächen-Personendosis** $H_p(0,07)$ in einer Messtiefe von 0,07 mm. Die Tiefen-Personendosis wird z.B. von einem üblichen Ganzkörperdosimeter (Filmdosimeter) gemessen, das an der Vorderseite des Rumpfes getragen wird. Die Oberflächen-Personendosis ist z.B. für die Bestimmung durch ein Fingerdosimeter

zur Überwachung der Hautdosis als Teilkörperdosis gedacht.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter, das **Filmdosimeter**, beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung dauerhaft erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden. Aus diesem Grunde werden Filmdosimeter bevorzugt bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen verwendet.

Ohne Vorhandensein einer Person wird die Ortsdosis bestimmt. Dies ist die Äquivalentdosis gemessen an einem bestimmten Punkt im Strahlungsfeld. Auch hier gibt es zwei Unterarten und zwar die Umgebungs-Äquivalentdosis H*(10) und die Richtungs-Äquivalentdosis H´(0,07,Ω). Alle diese Messgrößen sind Punktgrößen mit der Einheit Sievert (Sv) und ergeben sich aus der Energiedosis durch Multiplikation mit dem Qualitätsfaktor Q, der ähnlich wie der Strahlungs-Wichtungsfaktor die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt.

Äußere und innere Bestrahlung[14]

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betateilchen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germinativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann in Risikobetrachtungen einzubeziehen, wenn sie mit der Nahrung (Ingestion), dem Trinkwasser oder durch Atmung (Inhalation) dem Körper zugeführt oder durch Wunden in den Körper aufgenommen werden. Die Bestrahlung erfolgt dann von innen. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer solchen Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus bzw. in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Diese Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben physikalischen Eigenschaften der Strahlung und den physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide gehen zahlreiche, u.a. altersabhängige biokinetische Parameter in die Dosisermittlung ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Annahmen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z.B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z.B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci; 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq). Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d.h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Organdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z.B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts 60 μm^2 den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 500 mGy – kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 μm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch ge-

[14] Aktualisierter Text aus: „Strahlenexposition und Strahlengefährdung durch Plutonium", Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14, Stuttgart – New York, 1989, S. 25 ff.

troffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Verminderung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem linearem Energietransfer (LET) liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14-MeV-Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z.B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen (s.o.). Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Schwebstoffe) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

Stochastische und deterministische Strahlenwirkung[14]

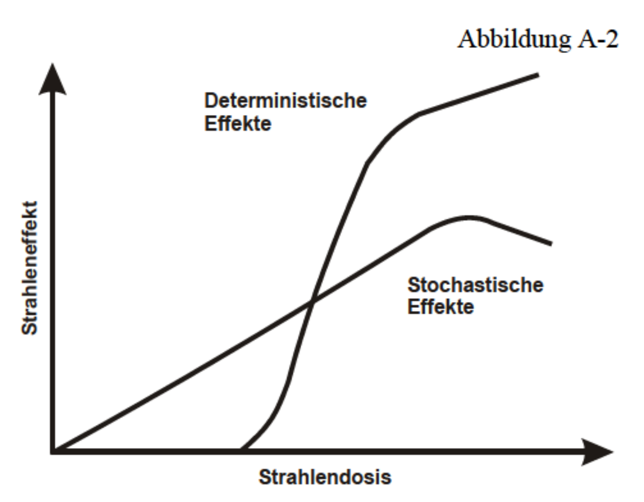
Im Strahlenschutz werden stochastische und nicht-stochastische (deterministische) Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei den nicht-stochastischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die im Folgenden beschriebenen Effekte induziert werden können (Abbildung A-2). Oberhalb der Schwellendosis tritt der gesundheitliche Effekt auf und der Schweregrad dieses Effektes nimmt mit steigender Dosis zu. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zu Grunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, wie Hautrötung (Erythem), Haarausfall oder verminderte Blutbildung.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abbildung A-2).

Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen Krebs, Leukämie und genetische Schäden daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d.h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko" wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit der Krebsentstehung und Dosis wird durch den Risikokoeffizienten ausgedrückt.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich bei den stochastischen Strahlenwirkungen um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen.

Abbildung A-2



Schematische Darstellung der Dosis-Wirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte

Genetische Strahlenwirkungen

Wirken ionisierende Strahlen auf Keimdrüsen oder Keimzellen, können sie Schäden im Erbgut (Mutationen) verursachen, die zu genetisch bedingten Krankheiten (Erbschäden) führen. Diese können sich bei den Kindern und Kindeskindern der bestrahlten Personen in Form von Fehlbildungen, Stoffwechselstörungen, Immunschäden etc. auswirken, aber auch erst nach vielen Generationen sichtbar werden. Wie Krebserkrankungen sind auch genetisch bedingte Krankheiten keine spezifischen Folgen einer Strahlenexposition, sondern treten mit dem gleichen klinischen Erscheinungsbild auch spontan oder infolge anderer Umwelteinflüsse auf.

Ein Zusammenhang zwischen einer Strahlenexposition und dem Auftreten von genetischen Effekten konnte beim Menschen bisher nicht beobachtet werden. Das größte Kollektiv bestrahlter Eltern stellen die Atombomben-Überlebenden dar. Die Kinder dieser Eltern sind registriert und werden bis heute immer wieder auf genetische Effekte untersucht. Bisher wurde unter den Kindern und Kindeskindern der Atombomben-Überlebenden aber keine statistisch signifikante Erhöhung in der Häufigkeit von Erbkrankheiten gegenüber der unbestrahlten japanischen Bevölkerung beobachtet. Daher ist man bei Risikoabschätzungen darauf angewiesen, die Wirkungen relativ starker Bestrahlungen im Tierexperiment zu untersuchen und von diesen Ergebnissen auf die statistisch bisher nicht erfassbaren Wirkungen niedriger Strahlendosen beim Menschen zu schließen.

Die Internationale Strahlenschutz-Kommission (ICRP) geht davon aus, dass das genetische Risiko für bis zu zwei Generationen nach Bestrahlung der Eltern mit einer einmaligen Gonaden-Dosis von 1 Gy bei 500 Geburten zu einer zusätzlichen schweren Erkrankung führt, die durch eine strahlenbedingte Mutation verursacht wird. Bei chronischer Strahlenbelastung über mehrere Generationen wird davon ausgegangen, dass durch eine Gonaden-Dosis von 1 Gy ein zusätzlicher Fall einer Mutation bei 100 Geburten ausgelöst wird, welche die Ursache für eine schwere Erkrankung ist.

Bei den Abschätzungen des genetischen Strahlenrisikos geht man von einer Verdoppelungsdosis in Höhe von 1 Gy im Falle einer chronischen Bestrahlung aus. D. h. eine Dosis von 1 Gy verdoppelt die spontane Mutationshäufigkeit für die Gesamtheit aller klinisch dominanten Mutationen, die bei etwa 2% pro Generation liegt. Für den Fall einer akuten Bestrahlung liegt die Verdopplungsdosis bei 0,3 Gy. Von den röntgendiagnostischen Maßnahmen verursacht die Computer-Tomographie (CT) die höchste Strahlenexposition. Eine CT des Unterleibs bedingt etwa eine Keimdrüsendosis von 35 mSv (Ovarien) bis 40 mSv (Hoden). Dies erhöht das spontane genetische Risiko von etwa 2 bis 3% (für monogenetische und chromosomale Erkrankungen) um 0,07% bei der Frau und 0,08% beim Mann.

Induktion bösartiger Neubildungen

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Risikos für bösartige Neubildungen, d.h. Leukämien und solide Tumoren, auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Personen mit hohen Radonexpositionen in Wohnungen,
- Personen mit signifikanten Strahlenbelastungen durch die Tschernobyl-Katastrophe.

Da sich eine strahlenbedingte Krebserkrankung nicht von einer „spontanen“ unterscheidet, können diese im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei vergleichbaren (etwa hinsichtlich Alter und Geschlecht) nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an malignen Erkrankungen nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämien und Lymphomen bis zu mehreren Jahrzehnten bei soliden Tumoren) auftreten können und damit analytisch, z.B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich sind. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig viele Daten vor.

Es wurde beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden.

Neben der Frage, ob die Erkrankungsrate in einer exponierten Bevölkerungsgruppe höher liegt als in einer nicht exponierten, ist es besonders wichtig festzustellen, wie das Risiko von der Dosis abhängt, d.h. ob es eine Dosis-Wirkungs-Beziehung gibt. Bei Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, der für die Risikoabschätzung wichtigsten Bevölkerungsgruppe, zeigen sich signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen sowohl für Leukämien als auch für solide Tumoren. Für Kinder, die vorgeburtlich durch Röntgenstrahlen exponiert wurden, traten bei Expositionen über 10 mSv signifikant gehäuft kindliche Leukämien und in geringerem Maße auch solide Tumoren auf. Vergleichbare Beobachtungen konnten bei Kindern, die in Hiroshima und Nagasaki vorgeburtlich exponiert wurden, aber nicht gemacht werden. Die Abschätzungen zum Krebsrisiko von Kindern nach vorgeburtlicher Strahlenexposition müssen daher als unsicher bewertet werden. Nach unserem heutigen Verständnis über die Strahlenwirkungen auf Moleküle und Zellen ist davon auszugehen, dass auch geringe Strahlendosen bösartige Neubildungen hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die ebenfalls das Risiko für bösartige Neubildungen beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass Letzteres sich in der Allgemeinbevölkerung aus den Schwankungen der „spontanen“ Rate nicht mehr heraushebt.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch die Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt in der Luft tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen. Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs wurde aber nicht nur bei den teilweise sehr

hoch exponierten Bergarbeitern gefunden, sondern auch in vielen Studien zu Radon in Häusern. Zusammengefasst zeigen diese Studien, dass das Lungenkrebsrisiko annähernd linear und ohne Schwellenwert mit der Radonkonzentration in den Innenräumen ansteigt. Das Lungenkrebsrisiko steigt um etwa 10% pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq pro m^3 Raumluft. Dies bedeutet, dass sich das Lungenkrebsrisiko je 1000 Bq pro m^3 Raumluft verdoppelt. Dies gilt sowohl für Raucher als auch für Nichtraucher.

Risikoabschätzung

Weltweit liegen zahlreiche epidemiologische Studien bei Personengruppen vor, die einer erhöhten Exposition durch ionisierende Strahlung ausgesetzt waren und bei denen Jahre und Jahrzehnte nach Bestrahlung häufiger als bei unbestrahlten Personen Leukämien oder Krebserkrankungen auftraten. Zu den bestrahlten Personengruppen gehören die Überlebenden der Atombombenexplosionen in Hiroshima und Nagasaki sowie Patientengruppen, die wegen bestimmter Erkrankungen radiologisch oder nuklearmedizinisch untersucht bzw. behandelt wurden, und beruflich strahlenexponierte Personen wie die Uranbergarbeiter oder Beschäftigte in kerntechnischen Anlagen.

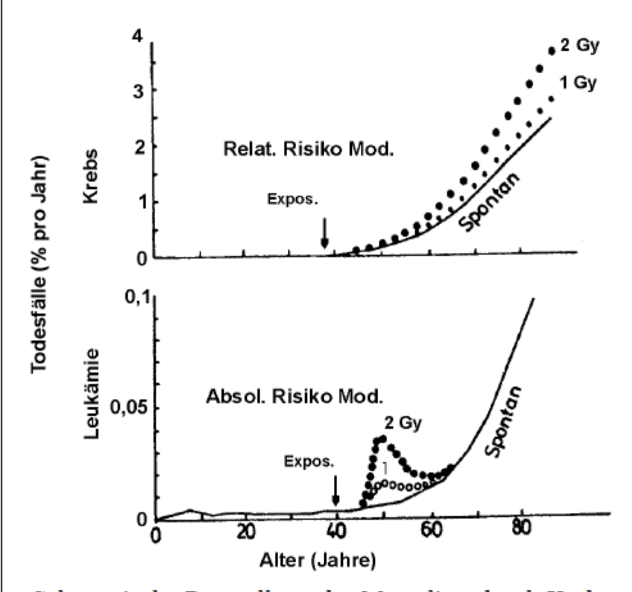
Abschätzungen zum Risiko strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen beruhen auf Auswertungen dieser epidemiologischen Studien, die von nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien, wie von der japanischen Radiation Effects Research Foundation (RERF), dem wissenschaftlichen Komitee über die Effekte der atomaren Strahlung der Vereinten Nationen (UNSCEAR) und auch der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommen werden. Um das allgemeine Strahlenrisiko abschätzen zu können, müssen die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen, die nur für die untersuchten Personengruppen und die speziellen Bestrahlungssituationen gelten, unter der Annahme von Risikomodellen zur Krebsentstehung ausgewertet werden. Dabei sind insbesondere folgende Übertragungen vorzunehmen:.

- Extrapolation der Risiken vom mittleren bis hohen Dosisbereich der Studien (z.B. bei Atombomben-Überlebenden) auf den Bereich niedriger Dosen sowie von akuten Bestrahlungssituationen auf chronische Expositionen, wie sie z.B. bei beruflich strahlenexponierten Personen vorkommen.
- Projektion des Risikos von der nur begrenzten, durch die Studie bedingten Beobachtungszeit auf die Lebenszeit der bestrahlten Personen.
- Transfer der Risikoabschätzungen auf verschiedene Bevölkerungsgruppen mit meistens unterschiedlichen natürlichen Krebsraten (z.B. von den japanischen Atombombenüberlebenden auf eine europäische Bevölkerung).

Epidemiologische Studien zeigen, dass eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung bösartiger Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. Hieraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass unterhalb dieser Dosen keine Wirkungen ionisierender Strahlung mehr auftreten würde. Vielmehr zeigt dies nur die methodische Beobachtungsgrenze epidemiologischer Untersuchungen an. Für die Extrapolation von mittleren bis zu niedrigen Dosen ist für die Häufigkeit strahlenbedingter Krebs- und Leukämieerkrankungen von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis auszugehen. Diese Annahme wird durch grundsätzliche biophysikalische und strahlenbiologische Erkenntnisse gestützt. Krebserkrankungen haben nach vorliegenden Erkenntnissen ihren Ursprung in einer einzelnen geschädigten Zelle. Da eine einzelne Energiedeposition durch die Strahlung in einer Zelle (bei 10 mSv Röntgenstrahlung wird eine einzelne Zelle in der Regel von einer einzigen physikalischen Elektronenspur getroffen) zur Krebsauslösung ausreicht und zelluläre Reparaturprozesse nicht immer vollkommen sind, muss auch im Dosisbereich unterhalb von 10 mSv von einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ausgegangen werden.

Für einzelne Krebsarten kann die lineare Extrapolation zwar dazu führen, dass das Risiko überschätzt wird (z.B. Osteosarkome nach Inkorporation von Alpha-Strahlern), es lässt jedoch nicht ausschließen, dass unter bestimmten Bedingungen das Risiko für andere Krebsarten auch unterschätzt wird, daher stellt unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten die lineare Extrapolation das fachlich beste Abschätzverfahren dar. Für genetische Schäden muss auf Grund des gleichen Wirkmechanismus der Mutationsauslösung wie bei der Krebsinduktion ebenfalls eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellendosis angenommen werden. Obwohl hierfür keine direkten Beobachtungen beim Menschen vorliegen, wird diese

Abbildung A-3



Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie. Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane" Mortalität durch diese Erkrankungen an. Die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition nach dem „Relativen Risikomodell" und dem „Absoluten Risikomodell" an.

Annahme durch tier- und zellexperimentelle Befunde gestützt.

Es gibt zwei Risikomodelle, die bei Risikoprojektionen und -transfer zu Grunde gelegt werden können: das absolute und das relative Risikomodell (Abbildung A-3). Das absolute Risikomodell geht davon aus, dass die Strahlung eine zusätzliche Zahl von Krebsfällen in Abhängigkeit von der Dosis auslöst. Beim relativen Risikomodell wird angenommen, dass der Strahlungseffekt darin besteht, dass sich die natürliche Krebshäufigkeit bei allen Altersgruppen um einen bestimmten Faktor, der dosisabhängig ist, erhöht. Da die natürliche oder spontane Krebshäufigkeit proportional mit dem Alter ansteigt, lässt sich unter der Annahme eines relativen Risikomodells infolgedessen auch im Alter eine größere Zahl strahlenbedingter Krebsfälle abschätzen. Die Risikoschätzungen nach dem relativen Modell sind daher höher als nach dem absoluten Modell.

Ausgehend von den epidemiologischen Daten für die japanischen Atombomben-Überlebenden sowie unter der Annahme eines relativen Risikomodells ergeben die Risikoabschätzungen von UNSCEAR[15] ein Lebenszeitrisiko strahlenbedingter Todesfälle für solide Tumoren von 9 % für Männer, 13 % für Frauen und einen Mittelwert von 11% für beide Geschlechter bei einer kurzzeitigen Exposition von 1 Sv. Da die Auswertung der Daten von japanischen Atombomben-Überlebenden mit einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung verträglich ist, kann dieses Risiko zu kleineren Dosen extrapoliert werden. Bei einer Exposition von 100 mSv erhöht sich das Lebenszeitrisiko deshalb um etwa 1 %, bei 10 mSv um 0,1 %. Strahlenbedingte Krebserkrankungen sind vom Krankheitsbild nicht zu unterscheiden von den sogenannten spontan entstehenden Krebserkrankungen. Im Vergleich dazu haben in Deutschland etwa 25% aller Todesfälle Krebs als Ursache, d.h. von einer Million Menschen werden etwa 250 000 an einer Krebserkrankung sterben.

[15] United Nations, Sources, Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume II: Effects, S. 361

Anhang B:

Nichtionisierende Strahlung – Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen

1. Statische Felder

Der Begriff „Statische Felder" umfasst elektrostatische Felder, die z.B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und statische Magnetfelder, wie z.B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld übt Kräfte auf elektrische Ladungen aus und führt damit zu einer Ladungsumverteilung an der Körperoberfläche. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 kV/m auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren des Körpers mit einem solchen Gegenstand zu Ausgleichströmen. In Feldern oberhalb von 5 bis 7 kV/m können solche Phänomene Schreckreaktionen durch Funkenentladungen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind vor allem elektrostatische Aufladungen für Funkenentladungen verantwortlich und nicht elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Dies erklärt, weshalb keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits auf Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände (z.B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind) und andererseits auf die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilchen (z.B. Blutströmung) beschränkt. An der Aorta führt dieser Mechanismus z.B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem statischen Magnetfeld von 1 T. Akute Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit hat.

Quellen statischer Felder sind z.B. Gleichspannungsanlagen, elektrifizierte Verkehrssysteme, die mit Gleichstrom betrieben werden (z.B. Straßenbahnen), Magnetschwebebahnen, Lautsprecheranlagen, Heizdecken, Dauermagneten z.B. an Namensschildern, und auch die sog. „Magnetheilmittel" wie Magnetpflaster, Magnetkissen, -decken, -bänder oder -gürtel.

Die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch Tiere spielt für ihre Orientierung eine große Rolle und ist wissenschaftlich erwiesen. Sie tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 µT) auf. Für den Menschen konnte ein derartiger Mechanismus bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie – MRT, englisch „nuclear magnetic resonance" – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Es existieren keine Schwellen zu einer gesundheitlichen Schädigung durch statische Magnetfelder. Bis jetzt sind keine schädigenden Wirkungen bei Magnetfeldexpositionen bis 2 T bekannt. Nach heutigem wissenschaftlichen Erkenntnisstand gelten die von der SSK empfohlenen Richtwerte für statische Magnetfelder als sicher (vgl. Berichte der SSK, Heft 18, „Empfehlungen zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken bei Anwendung magnetischer Resonanzverfahren in der medizinischen Diagnostik"). Die empfohlenen Richtwerte zur Begrenzung der Exposition liegen bei magnetischen Flussdichten von 2 T für den Kopf und/oder Rumpf und von 5 T für Extremitäten.

2. Niederfrequente Felder

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz. Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschaftes angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magneti-

Tabelle B 2-1

Physikalische Größen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	**E**	**V/m** (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	**H**	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	**B**	**Vs/m²** (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla) $1\ Vs/m^2 = 1\ T$ gebräuchlich: 1 µT veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ für Luft und organische Materialien: $B\ (\mu T) = 1{,}256 \cdot H\ (A/m)$ $1\ G = 10^{-4}\ T = 100\ \mu T$

sche Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können. In Tabelle B 2-1 sind die wichtigsten Messgrößen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder aufgeführt.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierte Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16 $^{2}/_{3}$ Hz) entstehen.

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetisches Felder – 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997), sind die Grenzwerte für ortsfeste Niederfrequenzanlagen geregelt (s. Tabelle B 2-2).

Tabelle B 2-2

Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (µT)
16 2/3 Hz	10	300
50 Hz	5	100

Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 µT begrenzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach dem etablierten Strom-Dichte-Modell der WHO von 1987 durch den physikalischen Mechanismus der Induktion bei 100 µT im menschlichen Körper eine Stromdichte von etwa 2 mA/m^2 entsteht. Bei diesem Wert, welcher der körpereigenen Stromdichte entspricht, wurden keine biologischen Effekte wissenschaftlich nachgewiesen. Gesundheitsrelevante Wirkungen niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 mA/m^2 bekannt.

3. Hochfrequente Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. In der 26. BImSchV sind Grenzwerte (s. Tabelle B 3-1) für gewerblich genutzte ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz (MHz) bis 300 Gigahertz (GHz, entspricht 300 000 MHz) festgelegt worden.

Tabelle B 3-1

Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)
10 – 400 MHz	27,5	0,073
400 MHz –2 GHz	$1{,}375\sqrt{f}$ *	$0{,}0037\sqrt{f}$ *
2 – 300 GHz	61	0,16

*f = Frequenz in MHz

Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen ab einem bestimmten Schwellenwert oberhalb der festgelegten Grenzwerte eine Erwärmung (thermischer Effekt). Dies wird in der Medizin z.B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken genutzt. Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kern-Spin-Systems benötigt. Derzeit werden in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst. Die vom Körper des Patienten absorbierte Energie kann nur im Mittel abgeschätzt werden, da auf Grund der komplexen Verhältnisse zwischen Körper und Gerät keine genauen Vorhersagen der Energieabsorption durch Berechnungen, Simulationen oder anhand von Phantomen möglich sind. In der nachfolgenden Tabelle B 3-2 sind die wichtigsten Messgrößen für hochfrequente elektromagnetische Felder aufgeführt.

Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als ein Grad konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche

Tabelle B 3-2

Physikalische Größen für hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke Magnetische Feldstärke	**E** **H**	**V/m** (Volt pro Meter) **A/m** (Ampere pro Meter)	$E = Z_0 \cdot H$ Dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
Leistungsflussdichte	**S**	**W/m^2** (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \cdot H = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	**SAR**	**W/kg** (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine Begrenzung der Belastung der Bevölkerung auf max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperaturausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Bei Einhaltung dieser Grenzwerte sind nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitlichen Gefahren zu erwarten.

Die elektromagnetischen Felder, die beim Telefonieren mit Handys auftreten, sind im Allgemeinen sehr viel stärker als die Felder, denen man z.B. durch benachbarte Mobilfunkbasisstationen ausgesetzt ist. Daher hält es das BfS für besonders wichtig, die Felder, denen die Nutzer von Handys ausgesetzt sind, so gering wie möglich zu halten und empfiehlt:

- In Situationen, in denen genauso gut mit einem Festnetztelefon wie mit einem Handy telefoniert werden kann, sollte das Festnetztelefon genutzt werden.
- Telefonate per Handy sollten kurz gehalten werden.
- Möglichst nicht bei schlechtem Empfang, z.B. aus Autos ohne Außenantenne, telefonieren. Die Leistung mit der das Handy sendet, richtet sich nach der Güte der Verbindung zur nächsten Basisstation.
- Verwendung von Handys, bei denen der Kopf möglichst geringen Feldern ausgesetzt ist. Die entsprechende Angabe dafür ist der SAR-Wert (Spezifische Absorptions Rate).
- Die Nutzung von Head-Sets: Die Intensität der Felder nimmt mit der Entfernung von der Antenne schnell ab. Durch die Verwendung von Head-Sets wird der Abstand zwischen Kopf und Antenne stark vergrößert.
- Beim Verbindungsaufbau sendet ein Handy im GSM-Standard mit erhöhter Leistung. Dies hat einen kurzfristig erhöhten Eintrag von Energie in den Kopf zur Folge. Dieser Energieeintrag kann vermieden werden, indem Telefonate nicht mit dem Handy am Ohr entgegengenommen werden bzw. das Handy erst nach Verbindungsaufbau ans Ohr geführt wird.

Ganz besonders gelten diese Empfehlungen für Kinder, da diese sich noch in der Entwicklung befinden und deshalb gesundheitlich empfindlicher reagieren könnten. Mit den oben aufgeführten Empfehlungen lässt sich die persönliche Strahlenbelastung einfach und effizient minimieren, ohne auf die Vorteile eines Handys verzichten zu müssen.

4. Optische Strahlung

Zum Bereich der optischen Strahlung gehören neben dem sichtaren Licht die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-)Strahlung sowie die Infrarot(IR)-Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320–400 nm), UV-B- (280–320 nm) und UV-C- (200–280 nm) Anteil auf. Die IR-Strahlung wird unterteilt in die kurzwellige IR-A-Strahlung mit einem Wellenlängenbereich von 780 bis 1400 nm, die IR-B-Strahlung (1400 bis 3000 nm) und den langwelligen Teilbereich, die IR-C-Strahlung, (3000 nm bis 1 mm).

Wirkungen von solarer UV-Strahlung auf Mensch und Umwelt

Die Sonne ist die wichtigste UV-Strahlenquelle. Ihre UV-Intensität in Bodennähe ist ausreichend hoch, um einen großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen, sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme auszuüben. Eine erwartete Verringerung des Gesamtozongehaltes würde diesen Einfluss weiter erhöhen. Aus diesem Grund ist die bodennahe solare UV-Strahlung ein weiterer wichtiger Umweltparameter geworden, der ständig erfasst und gesundheitlich sowie ökologisch bewertet werden muss.

Auf den Menschen bezogen, ist neben dem positiven Aspekt der Vitamin-D_3-Synthese allerdings die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Zunahme der Hautkrebserkrankungen Besorgnis erregend. Diese Zunahme steht im Zusammenhang mit einer erhöhten UV-Exposition, die vor allem auf ein verändertes Freizeitverhalten großer Teile der Bevölkerung zurückzuführen ist. Um besonders das nachgewiesene Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, möglichst gering zu halten, ist ein vernünftiger Umgang mit der Sonne geboten. Dazu ist es notwendig, der Bevölkerung eine Einschätzung ihrer aktuellen und zukünftigen UV-Belastung zu ermöglichen (s. UV-Index, Seite 68).

Darüber hinaus ist bei einer Erhöhung der erwarteten UV-Strahlung mit Schäden an terrestrischen Ökosystemen zu rechnen. Während sich ein im Wasser lebender Organismus durch seine Beweglichkeit und der Mensch durch bewusst angepasstes Verhalten vor den Folgen erhöhter UV-Strahlung schützen kann, ist dies für ortsfeste Landpflanzen nicht möglich. Dies erfordert auch Aufmerksamkeit für die Fragen nach den möglichen pflanzlichen Reaktionen auf UV-Strahlung, insbesondere bei Nutzpflanzen.

Sonnenbrand und Sonnenempfindlichkeit

Akute Wirkungen des kurzwelligen solaren UV-Anteils umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges. Zu den chronischen Wirkungen zählen die Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und der Hautkrebs.

Die entzündliche Hautrötung eines Sonnenbrandes wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind. Auf Grund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und zur Schmerzempfindung. Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythematogene Dosis (MED) bezeichnet. Sie beträgt etwa 250 J/m^2 für den empfindlichen Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigenschutzes

(Pigmentierung und Hornschichtverdickung) erhöht sich die aktuelle MED.

Der langwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z.B. bestimmte Medikamente und Kosmetika. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt Tabelle B 4-1. Auch Lebensmittel und Pflanzen, wie z.B. Zitrusfrüchte, Sellerie und Gemüse können sensibilisierende Stoffe enthalten und bei Einnahme oder teilweise bei Kontakt zu sonnenbrandähnlichen (erythemähnlichen) Hautreaktionen führen.

Tabelle B 4-1

Medikamente und chemische Stoffe, die Lichtempfindlichkeit auslösen können

Substanz	Anwendungsform
Antiseptika	Seifen
Blankophore	Waschmittel
Chloroquin	Antimalariamittel / Antirheumatika
Chlorothiazide	Diuretika (harntreibende Mittel)
Cyclamate	Süßstoffe
Sulfonamide	Antibiotika / Chemotherapeutika
Tetracyclin	Antibiotika
Triacetyldiphenylisatin	Abführmittel

Fototoxische Reaktionen können klinisch gewöhnlich als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden, fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte, durch UV-Strahlung aktivierte und umgewandelte Stoffe Allergencharakter annehmen. Unter entsprechenden Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden.

Hautkrebs und andere Erkrankungen durch UV-Strahlung

Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und Bindegewebsschädigung. UV-A-Strahlung trägt besonders zu dieser vorzeitigen Hautalterung bei.

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. In Deutschland lag 2008 nach Angaben der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft die Neuerkrankungsrate für Hautkrebs schätzungsweise bei knapp 120000 pro Jahr im Vergleich zu allen anderen Krebsarten mit ca. 330000 pro Jahr. In den letzten Jahrzehnten hat diese Rate deutlich zugenommen. Als wesentliche Ursachen für den starken Anstieg werden das geänderte Freizeitverhalten mit zunehmendem Aufenthalt im Freien und die Nutzung der künstlichen UV-Strahlung im Solarium verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II (Tabelle B 4-2).

Tabelle B 4-2

Die sechs Hauttypen*

Hauttyp I	sehr helle Haut, Sommersprossen, extrem empfindliche Haut, helle Augen, rotblondes Haar, keine Bräunung, meistens Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 10 Minuten
Hauttyp II	helle Haut, oft Sommersprossen, empfindliche Haut, helle Augen, helles Haar, langsame Bräunung, oft Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 20 Minuten
Hauttyp III	mittelhelle Haut, helle oder dunkle Augen, braunes Haar, einfache und langsame Bräunung, manchmal Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 30 Minuten.
Hauttyp IV	bräunliche, wenig, empfindliche Haut, dunkle Augen, dunkelbraunes oder schwarzes Haar, schnelle und tiefe Bräunung, selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 45 Minuten
Hauttyp V	dunkle, wenig empfindliche Haut, dunkle Augen, schwarzes Haar, selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 60 Minuten
Hauttyp VI	schwarze, wenig empfindliche Haut, dunkle Augen, schwarzes Haar, sehr selten Sonnenbrand: ungeschützt nach ca. 90 Minuten

* http://www.who.int/uv/faq/skincancer/en/index2.html

Über 90 % der bösartigen Neubildungen der Haut sind epidermalen Ursprungs (Epidermis: äußerste Zellschicht der Haut). Bei den Basalzell- und Plattenepithelkarzinomen konnte ein direkter Zusammenhang zwischen UV-Bestrahlung und Hautkrebsinzidenz beobachtet werden. Beim Basalzellkarzinom handelt es sich um einen langsam wachsenden, lokal Gewebe zerstörenden Tumor ohne Metastasenbildung. Er tritt vorwiegend in exponierten Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf. Obwohl die Sterblichkeit sehr niedrig ist, stellt die Therapie häufig ein großes kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom ist ein invasiver, lokal zerstörend wirkender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an exponierten Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarme auf. Als weitere Risikofaktoren kommen verstärkte Sonnenexpositionen und Vorhandensein von aktinischen Keratosen (durch chronische Sonnenbestrahlung hervorgerufene rötlich-braune, schuppige Hautverhornungen) hinzu.

Beim malignen Melanom (schwarzer Hautkrebs) ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für ei-

nen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung. Das maligne Melanom ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor überwiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20 %. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend sowie eine hohe Anzahl (über 40 – 50) Pigmentmale (Muttermale) hinzu.

UV-Monitoring

Der globale solare UV-Index ist ein Maß für die am Boden vorliegende sonnenbrandwirksame UV-Strahlung. Die Ermittlung des UVI kann durch Modellberechnungen oder Messungen erfolgen.

Im Jahr 1993 haben das Bundesamt für Strahlenschutz und das Umweltbundesamt den Betrieb an den 4 Stationen des UV-Messnetzes in Zingst (Ostseeküste), Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München) aufgenommen. In den Folgejahren wurde das Messnetz zusammen mit dem DWD und weiteren assoziierten Institutionen zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund, die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit der Forschungsstation in Westerland/Sylt, der DWD mit dem Observatorium Lindenberg, das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach und der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) mit den Messstationen in Hannover und auf der Insel Norderney.

Bei der Auswahl der Messstationen wurden insbesondere die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der Breitengrade, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt.

In München befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zum UV-Monitoring in einem eigenen UV–Kalibrierlabor die Qualitätssicherung durchführt und die gesundheitliche Bewertung und Speicherung der gesamten Messdaten übernimmt.

Die solare UV-Strahlung wird mit qualitativ hochwertigen Geräten im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm gemessen, d.h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Auf Grund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z.B. an wechselhaft bewölkten Tagen ausreichend genau erfasst werden. Die Gesamtglobalstrahlung (UV bis Infrarot) wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Für die tägliche Berichterstattung ruft die Messzentrale jeweils um die Mittagszeit aktuelle UV-Daten von allen Stationen ab und stellt sie zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes der Öffentlichkeit als UV-Index zur Verfügung:
www.bfs.de/de/www/uv/uv_messnetz/uvi/messnetz.html

Die kompletten Datensätze werden am Ende eines jeden Tages abgerufen, auf Plausibilität geprüft, strahlenhygienisch bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner gespeichert. Jedes Jahr werden die UV-Daten in Form von Jahresberichten im Internet veröffentlicht
(www.bfs.de/de/uv/uv_messnetz/UV_jb.html).

Von April bis September werden darüber hinaus für die 10 Vorhersagegebiete in Deutschland 3-Tages-UV-Vorhersagen erstellt und öffentlich zugänglich gemacht:
www.bfs.de/de/www/uv/uv_messnetz/uvi/prognose.html

An unbewölkten Tagen ist der UVI zur Mittagszeit am höchsten. In Deutschland ist der UVI im Winter am kleinsten (<1) und erreicht im Sommer im süddeutschen Raum Werte von 8 bis 9.

Der UVI hängt vor allem vom Sonnenstand ab. Er ändert sich daher am stärksten mit der Jahreszeit und der geografischen Breite. Weitere Einflussparameter sind das Gesamtozon, die Bewölkung, die Aerosolbelastung, Reflexionen an Sand und Schnee und die Höhenlage eines Ortes.

Je höher der UVI ist, desto höher ist das Sonnenbrandrisiko. Die Zeit zum Erreichen eines Sonnenbrandes ist für verschiedene Hauttypen unterschiedlich. Man unterscheidet sechs Hauttypen, die in Tabelle B 4-2 aufgeführt sind.

Menschen mit empfindlichem Hauttyp I erreichen bei hohem UVI die Sonnenbrandschwelle etwa in der halben Zeit wie Personen mit Hauttyp II. Bei Hauttyp III und IV kann von rund der doppelten Zeit bis zum Erreichen der Sonnenbrandschwelle ausgegangen werden, wenn die Haut nicht vorgebräunt ist.

In Tabelle B 4-3 sind die UVI- Schutzschemata aufgeführt, die seit kurzem von der WHO, dem WMO und der ICNIRP veröffentlicht worden sind. Die Schutzhinweise gelten für den empfindlichen Hauttyp II bei ungebräunter Haut.

Solarien

Solarien und Heimsonnen sind UV-Bestrahlungsgeräte, die für kosmetische Zwecke genutzt werden (z.B. Bräunung der Haut). Ein Solarium besteht aus einer künstlichen UV-Strahlenquelle, optischen Komponenten, wie Filter und Reflektoren und einem mechanischen Aufbau mit festgelegter Nutzfläche. Entscheidende Bewertungsgröße eines Solariums ist die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er} auf der Nutzfläche. Mittels dieser nach DIN genormten Messgröße werden die Solarien klassifiziert.

Bei der Nutzung von Solarien können akute und chronische Strahlenwirkungen auftreten, wie sie von der natürlichen Sonnenbestrahlung her bekannt sind. Dabei spielt der Hauttyp eine entscheidende Rolle. Die im Mai 2003 vom Runden Tisch Solarium (RTS) auf Grund der SSK-Empfehlung erarbeiteten Kriterien sind Grundlage des Verfahrens für die freiwillige Zertifizierung von Solarien durch das BfS. Ziel ist ein Mindestschutz vor zu hoher UV-Belastung und damit zu hohem gesundheitlichen Risiko, wenn ausschließlich nach diesen Kriterien zertifizierte Solarienbetriebe aufgesucht werden.

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind definierte Gerätestandards mit limitierter UV-Bestrahlung und Prüfungsvorschriften, sowie einheitliche Betriebsabläufe bzgl. der Hygiene und Arbeitschutzmaßnahmen. Weiterhin werden die fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiter und der Umfang der Kundeninformation und –beratung durch Schulungsmaßnahmen geregelt. Darüber hinaus verpflichtet sich der Betreiber eines nach BfS-Kriterien zertifizierten Studios, Personen unter 18 Jahren die Nutzung der Geräte in seinem Studio zu untersagen.

Infrarotstrahlung

Natürliche IR-Strahlungsquellen sind die Sonne und das Feuer. Der infrarote Anteil der den Erdboden erreichenden Sonnenstrahlung beträgt knapp 50%. Außerdem gibt die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Erde IR-Strahlung ab. Die meisten künstlichen IR-Strahlungsquellen sind thermische Strahler, die bis zu 1000°C heiß werden können. Industriell werden Infrarotöfen z.B. für Trocknungsprozesse oder zur Kunstharz-Polymerisierung verwendet. Die üblichen Bestrahlungsstärken liegen dabei im Bereich von 1-8 kW/m^2. In der Medizin aber auch im Wellnessbereich, werden zur Wärmebehandlung des menschlichen Körpers IR-Bestrahlungslampen z.B. in Infrarot-Wärmekabinen eingesetzt. Die Glühwendeltemperaturen dieser Lampen liegen bei ca. 2000°C, die Bestrahlungsstärken liegen im Bereich von 100-300 W/m^2.

Infrarotstrahlung mit relativ niedriger Intensität wird als angenehm empfunden. Bei höheren Intensitäten ist sie jedoch mit gesundheitlichen Gefahren (z.B. Augenschäden und Verbrennungen) verbunden, vor denen man sich schützen muss. In begrenztem Umfang stellen die körpereigenen Thermo- und Schmerzrezeptoren natürliche Schutzmechanismen dar.

IR-Strahlung wird überwiegend an der Körperoberfläche absorbiert. Von der IR-Strahlung sind somit zunächst Auge und Haut betroffen. Durch Wärmeleitung kann aber auch eine Erwärmung tiefer gelegener Körperorgane erfolgen.

Wirkung der Infrarotstrahlung auf das Auge

Der vordere Teil des Auges ist besonders für den kurzwelligen IR-Anteil (IR-A) durchlässig. Es können unmittelbar Netzhautschädigungen erfolgen. Bei chronischer Bestrahlung mit starken IR-Quellen kann die Linse getrübt werden (z.B. „Glasbläserstar“). Eine Bestrahlung der Haut kann bei ausreichend hohen Bestrahlungsstärken bereits nach sehr kurzer Zeit zu Verbrennungen führen. Bei niedrigeren Bestrahlungsstärken schützen davor im Allgemeinen die natürlichen Abwehr- und Schmerzreaktionen.

Wirkung der Infrarotstrahlung auf den Gesamtorganismus

Häufigste Ursache für gesundheitliche Schäden durch IR-Strahlung im Alltag ist eine zu lange und intensive Sonnenbestrahlung. Hohe thermische Belastungen z.B. durch IR-Bestrahlung können zu Störungen im Wärmehaushalt des Gesamtorganismus führen. Steigt die Temperatur im Körperinneren (Kerntemperatur) auf ca. 40°C, kommt es durch die Erweiterung oberflächennaher Blutgefäße zu einem Blutdruckabfall mit Mangeldurchblutung des Gehirns und Bewusstlosigkeit (Hitzekollaps). Die gefährlichste Wirkung von IR-Strahlung ist der Hitzschlag. Dabei führt ein Anstieg der Kerntemperatur auf über 41°C zu einem Kreislaufkollaps. Auf Grund der hohen Temperatur können dabei alle Organe thermisch geschädigt werden.

Tabelle B 4-3

Empfohlenes UVI-Schutzschema der WHO/WMO/ICNIRP mit Zeiten zum Erreichen eines Erythems (Hauttyp II)

UVI	Klassifikation	Zeit zum Erreichen eines Erythems	Schutz	Schutzmaßnahmen
>10	extrem		extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
10	sehr hoch		extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
9	sehr hoch	< 20 min.	extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
8	sehr hoch	< 20 min.	extra Schutz	Mittags im Innenraum, unbedingt Hemd, Sonnenlotion und Hut
7	hoch	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
6	hoch	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
5	moderat	ab 20 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
4	moderat	ab 30 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
3	moderat	ab 30 min	erforderlich	Mittags Schatten, Hemd, Sonnenlotion, Hut
0–2	niedrig	ab 30 min	nicht erforderlich	

Anhang C:

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke und Abkürzungen

Absorption	Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die Energie der Strahlung wird dabei in eine andere Energieform (z.B. Wärme) umgewandelt. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der von Organismen aufgenommenen Dosis
Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Zerfälle eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i.A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu
AKR-Mäuse	Labormäuse, die bereits eine Veranlagung zur Ausbildung von Leukämie besitzen. Es handelt sich um ein anerkanntes Tiermodell für menschliche Leukämien, das in der Krebsforschung eingesetzt wird
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Angiographie	Darstellung der Blutgefäße
Äquivalentdosis	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU-Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, Bethesda, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge. Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird in der Einheit Sievert (Sv) angegeben. 1 µSv = Mikrosievert ist der millionste Teil des Sievert. 1 mSv = Millisievert ist der tausendste Teil des Sievert.
ÄS	Ärztliche und zahnärztliche Stellen
Athermische Effekte	Eine Reihe verschiedener Effekte bei Einwirkung elektromagnetischer Felder, die unabhängig von einer Erwärmung des Gewebes auftreten
AVR	Atomversuchsreaktor (Jülich)
BGBl	Bundesgesetzblatt
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie
BEMFV	Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder vom 20. August 2002 (BGBl 1, S. 3366), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl 1, Seite 1970)
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht. Die Energieverteilung der Betateilchen ist kontinuierlich (Betaspektrum) und besitzt eine scharfe obere Grenze (sog. Endenergie)
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
Biologische Effekte	Einflüsse auf lebendes Material (Organismen, Gewebe, Zellen)

Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen (s.a. Teletherapie)
Blut-Hirn-Schranke	Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektiv durchlässige Barriere zwischen Blut und Hirnsubstanz. Durch sie wird der Stoffaustausch zwischen Blut und Zentralnervensystem aktiv kontrolliert. Sie hält schädliche Stoffe von den Nervenzellen fern. Die Blut-Hirn-Schranke wird von der inneren Zellschicht der kleinen Blutgefäße im Gehirn (Kapillar-Endothelzellen) und den umgebenden Hilfszellen, den Astrozyten, gebildet
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschuz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNetzA	Bundesnetzagentur
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper des Patienten aufgelegte Strahlenquellen (s.a. Teletherapie)
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen
Deterministisch	Deterministische Strahlenschäden sind dadurch gekennzeichnet, dass die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, ab dem ein Schaden auftritt (z.B. Hautrötung, Augenlinsentrübung)
Diagnostischer Referenzwert	In der RöV sind DRW definiert als „Dosiswerte für typische Untersuchungen mit Röntgenstrahlung, bezogen auf Standardphantome oder auf Patientengruppen mit Standardmaßen, mit für die jeweilige Untersuchungsart geeigneten Röntgeneinrichtungen und Untersuchungsverfahren". Die DRW dienen den Ärzten bei häufigen und/oder dosisintensiven Röntgenuntersuchungen als obere Richtwerte, die nicht beständig und ungerechtfertigt überschritten werden dürfen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik sind die DRW in der nuklearmedizinischen Diagnostik keine oberen Richtwerte, sondern Optimalwerte. Sie geben also die für eine gute Bildqualität notwendige Aktivität an und sollen bei Standardverfahren und -patienten appliziert werden. Den Ärztlichen Stellen fällt die Aufgabe zu, die Einhaltung der DRW bei der Patientenexposition zu überprüfen. Die DRW stellen keine Grenzwerte für Patienten dar und gelten nicht für einzelne individuelle Untersuchungen
Diuretika	Arzneimittel, die eine erhöhte Ausscheidung von Salzionen und Wasser bewirken
DMF	Deutsches Mobilfunk-Forschungsprogramm
DNS	Desoxyribonukleinsäure – Bestandteil der Zellkerne aller pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismen
Dosimetrie (nichtionisierende Strahlung)	Quantitative Erfassung der Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosimeter (nichtionisierende Strahlung)	Personendosimeter; ein Messgerät zur Bestimmung der individuellen Exposition durch elektromagnetische Felder
Dosis	Siehe Energiedosis, Äquivalentdosis, Organdosis, Kollektivdosis und effektive Dosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt

DRW	Diagnostische Referenzwerte
DWD	Deutscher Wetterdienst
Effektive Dosis	Summe der gewichteten Organdosen in den in Anlage VI Teil C der StrlSchV angegebenen Geweben oder Organen des Körpers durch äußere oder innere Strahlenexposition; die effektive Dosis ergibt sich aus den Organdosen durch Multiplikation mit dem jeweiligen Gewebe-Wichtungsfaktor
Elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m)
Elektrische Ladung	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist das Coulomb (C)
Elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
Elektrische Spannung	Maß für die Arbeit, die erforderlich ist, um eine Ladung in einem elektrischen Feld von einem Punkt zum anderen zu bringen, dividiert durch die Ladung. Die Einheit ist Volt (V)
Elektrischer Strom	Die durch den Querschnitt eines Leiters pro Zeiteinheit hindurchfließende elektrische Ladung. Die Einheit ist Ampere (A)
Elektrosensibilität	Umschreibung für eine subjektiv empfundene besondere Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Elektromagnetische Felder werden als Ursache für verschiedene Befindlichkeitsstörungen wie Kopf- und Gliederschmerzen, Schlaflosigkeit, Schwindelgefühle, Konzentrationsschwächen oder Antriebslosigkeit gesehen. Ein wissenschaftlicher Nachweis für einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und dem Einwirken niederfrequenter oder hochfrequenter elektromagnetischer Felder konnte bisher nicht erbracht werden
Elektrosensitivität	Besondere Empfindlichkeit gegenüber nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern; betroffene Personen spüren z.B. elektrische Ströme nachweislich bei geringeren Intensitäten als der Durchschnitt der Bevölkerung
Elektrostatisches Feld	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
EMF	Elektromagnetische Felder
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird und der Masse in diesem Volumenelement. Die Einheit der Energiedosis ist das Gray (Gy)
Epidemiologie	Die Epidemiologie ist das Studium der Verbreitung und Ursachen von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in bestimmten Populationen. Das epidemiologische Wissen wird im Allgemeinen angewendet, um Gesundheitsprobleme der Bevölkerung unter Kontrolle zu halten.
EURATOM	Europäische Atomgemeinschaft
EUREF	European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services

Fall-Kontroll-Studie	Ein Studiendesign, das in der Epidemiologie entstanden ist. Fall-Kontroll-Studien dienen dem retrospektiven Nachweis von pathogenen Faktoren für gesundheitliche Störungen. In einer Fall-Kontroll-Studie wird untersucht, ob Personen mit einer bestimmten Krankheit (sog. Fälle) häufiger oder höher exponiert waren als vergleichbare Personen ohne diese Krankheit (sog. Kontrollen). **Eingebettete Fall-Kontroll-Studie:** Häufig wird im Rahmen einer Kohortenstudie gezielt eine bestimmte Krankheit näher untersucht. Hierzu werden alle Personen mit dieser Krankheit (sog. Fälle) aus der Kohorte ausgewählt und eine zufällige Teilmenge von Personen aus der Kohorte ohne diese Erkrankung (sog. Kontrollen) zufällig ausgewählt. Anschließend werden für diese Untergruppe gezielt weitere Befragungen oder Erhebungen durchgeführt. Man bezeichnet diesen Studientyp als eingebettete Fall-Kontroll-Studie, da die Fall-Kontroll-Studie in eine Kohortenstudie eingebaut wird
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen durch Niederschlag und Sedimentation von Schwebstoffen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Fernfeld	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes einer Strahlungsquelle, in dem die Beträge der elektrischen bzw. magnetischen Feldstärke umgekehrt proportional mit der Entfernung abfallen (Strahlungsfeld in genügender Entfernung von der Quelle)
FM	Feuchtmasse
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz)
Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann. Sie ist von gleicher Natur wie das sichtbare Licht oder wie Radiowellen. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und hat ein hohes Durchdringungsvermögen
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Schwebstoffen und Gasen in der Atmosphäre
Globalstrahlung	Gesamtheit der aus dem oberen Halbraum auf horizontaler Ebene einfallenden direkten und diffusen Sonnenstrahlung
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
GSM	Globales Mobilfunksystem
HF	Abkürzung für die Ausdrücke „Hochfrequenz“, „hochfrequente“
Hochfrequenz	Hochfrequente elektromagnetische Felder. Hier definiert als Frequenzen zwischen 100 kHz und 300 GHz (s. nichtionisierende Strahlung)
Hot spots	Räumlich eng begrenzte Bereiche mit besonders hoher Absorption elektromagnetischer Felder
Hz	Hertz
IARC	International Agency for Research on Cancer (Internationale Agentur für Krebsforschung)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Komission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
ICRP	International Commission on Radiological Protection (Internationale Strahlenschutzkommission)
IMIS	Integriertes Mess- und Informationssystem

Induktion	Vorgang, bei dem in einem Leiter elektrischer Strom (Wirbelstrom) erzeugt wird, wenn der magnetische Fluss innerhalb dieses Leiters geändert wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an der Oberfläche dieses Körpers lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
Infrarotstrahlung	Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780nm - 1mm
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung, welche die Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirkt (z.B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung)
IR	Infrarote Strahlung (Wellenlänge 780 nm bis 1 mm)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleiche Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kohortenstudie	Eine Untersuchung, in der eine Gruppe von Personen (Kohorte), deren Expositionsbedingungen bekannt sind, über längere Zeit beobachtet wird. Die verschiedenen Expositionen werden mit dem Auftreten von Krankheiten in Verbindung gebracht
Kollektivdosis	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert
Kontamination	Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen a) Oberflächenkontamination: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, die die nicht festhaftende, die festhaftende und die über die Oberfläche eingedrungene Aktivität umfasst. Die Einheit der Messgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratzentimeter. b) Oberflächenkontamination, nicht festhaftende: Verunreinigung einer Oberfläche mit radioaktiven Stoffen, bei denen eine Weiterverbreitung der radioaktiven Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Linearer Energietransfer (LET)	Der Lineare Ernergietransfer ist ein Maß für die Dichte der Ionisierung bei ionisierenden Strahlen
Leukämie	Krebs der weißen Blutzellen; Ursache weitgehend unbekannt; Inzidenzhäufigkeit 40 – 50 Fälle je 1 Million Einwohner. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichem Krankheitsverlauf und unterschiedlicher Heilungswahrscheinlichkeit
Machbarkeitsstudie	In einer Machbarkeitsstudie wird untersucht, ob und unter welchen Bedingungen eine geplante aufwändige Untersuchung erfolgreich sein kann
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert

Magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
Magnetische Flussdichte	Größe, die die Induktionswirkung des magnetischen Feldes beschreibt. Die Einheit ist Tesla (T). Magnetische Flussdichte und magnetische Feldstärke sind durch die Permeabilität μ (eine Materialkonstante) verbunden
Magnetische Induktion	Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist das Tesla (T). 1 T = 1 Vs/m^2 (Voltsekunde pro Quadratmeter)
MED	Minimale erythematogene Dosis Erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem)
Medianwert	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50 % der Messwerte liegen
MRT	Magnetresonanztomographie (Kernspintomographie) Schnittbildverfahren in der radiologischen Diagnostik, das im Gegensatz zur Computer-Tomographie (CT) keine ionisierende Strahlung verwendet, sondern verschiedene magnetische und elektromagnetische Felder. Bei Einhaltung aktueller Sicherheitsempfehlungen ist die Untersuchung für den Patienten mit keinen gesundheitlichen Risiken verbunden.
Nachweisgrenze	Die Nachweisgrenze bezeichnet den Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße mit den besten zurzeit verfügbaren Nachweismethoden gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden kann, also in einem vorgegebenen statistischen Konfidenzintervall liegt.
Nahfeldexposition	Räumlicher Bereich des elektromagnetischen Feldes zwischen der Strahlungsquelle und ihrem Fernfeld (elektromagnetisches Feld in unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle)
Nichtionisierende Strahlung	Elektrische, magnetische sowie elektromagnetische Felder mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen (Ionisierung) bewirken können
NIR	Englisch „non ionizing radiation" – Nichtionisierende Strahlung
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor nach Anlage VI Teil C der StrlSchV. Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die Organdosis die Summe der nach Anlage VI Teil B ermittelten Einzelbeiträge durch äußere oder innere Strahlenexposition
Ortsdosis	Äquivalentdosis, gemessen an einem bestimmten Ort mit den in Anlage VI Teil A der StrlSchV angegebenen Messgrößen
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall
PAS	Public Available Specification
Personendosis	Die Personendosis ist in der Strahlenschutzverordnung definiert als Messgröße. Sie entspricht der Äquivalentdosis gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person. Man unterscheidet die Tiefen-Personendosis Hp(10) in einer Messtiefe von 10 mm und die Oberflächen-Personendosis Hp(0,07) in einer Messtiefe von 0,07 mm

Personendosimeter (nichtionisierende Strahlung)	Messgerät zur Bestimmung der Höhe der Exposition durch niederfrequente oder hochfrequente elektromagnetische Felder einer einzelnen Person
Perzentil	Statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z.B. 95. Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie Nuklearmedizinisches Schnittbildverfahren, mit dessen Hilfe physiologische Funktionen und Stoffwechselprozesse sichtbar gemacht und quantifiziert werden können. Es beruht auf der Markierung von Biomolekülen mit kurzlebigen Radionukliden (Radiotracer), bei deren Zerfall Positronen entstehen. Die emittierte Strahlung wird mittels eines Detektorrings, der den Patienten umgibt, registriert und in Bilder umgesetzt, die die Verteilung des Radiotracers im Körper darstellen.
Pyranometer	Messgerät zur kontinuierlichen Aufnahme der Globalstrahlung
Querschnittsstudie	Querschnittsstudien umfassen eine Auswahl von Personen aus einer Zielpopulation zu einem festen Zeitpunkt (Stichtag). Für die ausgewählten Personen wird der Krankheitsstatus und die gegenwärtige oder auch frühere Exposition gleichzeitig erhoben
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Risiko	Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung
Risikokommunikation	Interaktiver (wechselseitiger) Prozess des Austausches von Informationen und Meinungen zu Risiken zwischen wissenschaftlichen Experten, Risikomanagern (Behörden) und der Öffentlichkeit (Betroffene, Interessensgruppen, etc.)
Risikowahrnehmung	Prozess der subjektiven Aufnahme, Verarbeitung und Bewertung von risikobezogenen Informationen auf Grund persönlicher Erfahrungen, aufgenommener Informationen und der Kommunikation mit anderen Individuen
RöV	Röntgenverordnung vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 1869), zuletzt geändert am 30. April 2003 (BGBl. I, S. 604)
RTS	Runder Tisch Solarien
Schwebstoffe	Feste oder flüssige Schwebeteilchen in der Luft (Durchmesser: 10^{-3} bis 10^{-8} cm). Der überwiegende Teil der natürlichen und künstlichen Radionuklide der Luft ist an Schwebstoffe gebunden
Sendeleistung	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
SI-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt
Sievert (Sv)	SI-Einheit der Organdosis, der effektiven Dosis sowie der Äquivalentdosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)

SSK	Strahlenschutzkommission
Stochastisch	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Strahlenexposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers. Innere Strahlenexposition ionisierender Strahlung ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, (2002, 1459)), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. August 2008 (BGBl. I S. 1793)
StrVG	Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 1 des ersten Gesetzes zur Änderung des Strahlenvorsorgegesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 686)
TBL	Transportbehälterlager
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen (s.a. Brachytherayie)
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
TM	Trockenmasse
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UBA	Umweltbundesamt
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (Wissenschaftliches Komitee der Vereinten Nationen über die Wirkung von atomarer Strahlung)
UV	Ultraviolette Strahlung (Wellenlänge 100–400 nm)
UVI, UV-Index	Maß für sonnenbrandwirksame solare Strahlung Der UV-Index beschreibt den am Boden erwarteten bzw. gemessenen Wert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und dient der Information der Bevölkerung über die Gefahren der solaren UV-Strahlung
WBA	Wasserbehandlungsanlage
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
Wirbelstrom	Durch Induktion in einem leitfähigen Körper erzeugter elektrischer Strom
WMO	World Meteorological Organization (Welt-Organisation Metereologie)

Anhang D:

Stichwortverzeichnis



Gesamtherstellung: H. Heenemann GmbH & Co., Buch- und Offsetdruckerei, Bessemerstraße 83–91, 12103 Berlin, www.heenemann-druck.de
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 05 34, 50445 Köln, Telefon (02 21) 97 66 83 40, Fax (02 21) 97 66 83 44, www.betrifft-gesetze.de
ISSN 0722-8333